



Universidade de Aveiro Departamento de Física
2008

**INÊS MARINA SERRA
MARTINS**

**HIDROGRAFIA COSTEIRA DE AVEIRO A
FINISTERRA**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia e Oceanografia Física, realizada sob a orientação científica do Doutor João Miguel Sequeira Silva Dias, Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro e da Doutora María Inés Álvarez Fernández, Professora Associada do Departamento de Física Aplicada, Faculdade de Ciências de Ourense da Universidade de Vigo, Espanha.

o júri

presidente

Prof. Doutor Alfredo Moreira Caseiro Rocha
Professor Associado do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Miguel Sequeira Silva Dias
Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Inés Alvarez Fernandez
Professora Associada Faculdade de Ciências de Ourense da Universidade de Vigo

Prof. Doutora Maria Teresa de Castro Rodriguez
Professora contratada da Faculdade de Ciências de Ourense da Universidade de Vigo

agradecimentos

Agradeço ao Prof. Doutor João Miguel Dias a forma como orientou o meu trabalho. As notas dominantes da sua orientação foram a utilidade das suas recomendações e a cordialidade com que sempre me recebeu. Estou grata por ambas e também pela liberdade de acção que me permitiu, que foi decisiva para que este trabalho contribuisse para o meu desenvolvimento pessoal.

À Prof. Doutora María Inés Alvarez pela disponibilidade em me receber, pelo apoio e conhecimentos transmitidos.

Ao Eng.º Jorge da Silva pela discussão científica que proporcionou, pelos conhecimentos transmitidos e pela liberdade de utilização da informação.

Ao Instituto Hidrográfico, pelo acolhimento e disponibilidade dos dados e a todos os colegas da divisão de Oceanografia.

Ao Nuno Vaz pelos conselhos e constantes e preciosos incentivos.

Aos familiares e amigos que acompanharam e apoiaram esta jornada, ajudando a dar este passo em frente.

A ti, Paulo, por tudo.

palavras-chave

Hidrografia Costeira; Contribuições Fluviais; Plataforma Continental; Processamento de Dados Hidrológicos; Costa NW Ibérica.

resumo

O conhecimento adequado dos processos que ocorrem na plataforma continental é um pré requisito para um sistema operacional de observação costeira e previsão.

O sistema hidrológico na área Norte da plataforma Oeste Ibérica não é ainda bem conhecido e os modelos existentes falham na sua descrição adequada, especialmente em condições extremas. Estudos recentes têm vindo a clarificar melhor o papel dos caudais fluviais e do vento no forçamento das correntes costeiras, contribuindo também para determinar as suas escalas espaço-temporais típicas.

O principal objectivo deste trabalho consistiu na caracterização em termos hidrológicos da região da plataforma continental entre Aveiro e Finisterra em situação de Inverno. Para tal, nos Invernos de 2006 e 2007, efectuaram-se levantamentos de CTD, fundeou-se um ADCP para medir a corrente e a agitação marítima na plataforma interna e apoiou-se a discussão dos dados obtidos com informação meteorológica, caudais fluviais afectos à zona em estudo, maré e agitação marítima medida por uma bóia ondógrafo.

Neste estudo sugere-se que o caudal fluvial, apesar de pouco elevado, é responsável pela indução da deriva de uma corrente costeira de superfície, capaz de promover um transporte efectivo para Norte de água, sedimentos e material biológico, provindos quer da plataforma quer das fontes estuarinas. Apesar da presença de flutuabilidade estuarina induzida, foi evidente que as alterações das estruturas hidrológicas responderam maioritariamente ao vento. Apenas se manifestou uma corrente para Norte durante o período de vento de Sul. A contribuição fluvial revelou-se demasiado fraca para contrariar este forçamento do vento.

keywords

Coastal Hidrography; River Contributions; Continental Shelf; Hidrologic Data Processing; Iberian NW coast

abstract

A proper understanding of the continental shelf process is a prerequisite for an operational system of coastal observations and forecast.

The hydrologic system in the northern part of the west Iberian shelf is not yet well understood and the existing models fail to describe it adequately, especially in extreme conditions. Recent attempts have been done to better clarify the roles of buoyancy and wind in the coastal current forcing, as well as to disclose its typical space and time scales.

The main purpose of this study was to characterize in hydrological terms the region of the continental shelf between Porto and Finisterre in a winter situation. With this propose, in the winters of 2006 and 2007, surveys of CTD were made, an ADCP was moored to measure currents and wave height, period and direction at the inner shelf. To discuss the data obtained, meteorological information, runoff at the studied area, tide and directional wave data measured at a *wavescan* buoy were collected.

It is hypothesised in this study that river runoff, though not very high, is likely to induce a buoyancy driven coastal current capable of promoting an effective northward transport of water, sediments and biological material from both shelf and estuarine sources.

Although the presence of estuarine induced buoyancy was evident in the hydrographic structures, their changes responded mainly to the wind. A northward current was present only during the period of southerlies, and buoyancy revealed to be too weak to counteract the wind reversal.

Índice

Índice.....	i
Índice de Figuras	i
Índice de Tabelas	iii
CAPÍTULO I: Introdução.....	1
1.1. Objectivos, Motivação e Organização	1
1.2. Estado da Arte	1
CAPÍTULO II: Enquadramento Regional	4
2.1. Morfologia da Área em Estudo	4
2.2. Condições Meteorológicas	6
2.3. Águas Superficiais.....	6
2.4. Correntes Superficiais e Circulação.....	7
2.5. Marés	7
2.6. Agitação Marítima.....	8
2.7. Ondas Internas.....	8
2.8. Sedimentos	9
CAPÍTULO III: Metodologia	10
3.1 Aquisição de dados.....	10
3.1.1 Observações	10
3.2. Processamento de dados de CTD	15
CAPÍTULO IV: Resultados e Discussão	17
4.1 Campanha de 2006	17
4.1.1 Caudais das Principais Fontes de Água Doce.....	17
4.1.2 Condições Meteorológicas	18
4.1.3 Maré.....	19
4.1.4 Agitação Marítima	20
4.1.5 Hidrologia.....	22
4.1.6 Correntometria.....	28
4.2 Campanha de 2007	30
4.2.1 Caudais das Principais Fontes de Água Doce.....	30
4.2.2 Condições Meteorológicas	31
4.2.3 Maré.....	33
4.2.4 Agitação Marítima	34
4.2.5 Hidrologia.....	35
4.2.6 Correntometria.....	41
CAPÍTULO V: Conclusões	43
REFERÊNCIAS	44

Índice de Figuras

Figura 1. Imagem aérea da costa Oeste da Península Ibérica com indicação da área estudada (fonte: ESA).	4
Figura 2. Mapa batimétrico da plataforma continental do Minho-Galiza (direita) e pormenor da área entre a Ria de Aveiro e o rio Minho (esquerda). O espaçamento das linhas batimétricas é de 10 m até aos 100 m, 20 m entre os 100 m e os 200 m e de 100 m a partir dos 200 m.	5
Figura 3. Distribuição da temperatura da superfície do mar. Composição de imagens de satélite obtidas entre 1985 e 2006 para os três meses de Inverno, pelo sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo do NOAA (Cortesia de Maria Inés Alvarez Fernandez).....	7
Figura 4. Fotografia da assinatura superficial de uma onda interna e uma representação simplificada de uma onda interna formada no Canhão Submarino de Monterey, no canto inferior direito (Fonte: Ryan et al., 2005).....	9
Figura 5. Levantamento hidrológico (CTD) (Campanha NICC 2006-02) geral da área Aveiro-Finisterra (24 Fevereiro – 7 Março 2006, à esquerda) e levantamento detalhado da área Douro – Minho (12-13 Março 2006, à direita). Indicam-se os números das fiadas CTD, a localização do perfilador de corrente (ADCP) (⊕), do marégrafo (*), da estação meteorológica de Viana do Castelo (▶), da bóia ondógrafo (⊠) e das estações hidrométricas de Crestuma (●) e da Foz do Mouro (●).	11
Figura 6. Levantamento hidrológico (CTD) (Campanha NICC 2007-01) geral da área Aveiro-Finisterra (3-4 e 5-6 Fevereiro 2007, à direita) e levantamento detalhado da área Porto-Viana do Castelo (24, 26 e 29 Janeiro 2007, à	

esquerda). Indicam-se os números das fiadas CTD, a localização do perfilador de corrente (ADCP) (\oplus), do marégrafo (\circ), da estação meteorológica de Viana do Castelo (\blacktriangleright), da bóia ondógrafo (\boxtimes) e das estações hidrométricas de Crestuma (\bullet) e da Foz do Mouro (\bullet).....	11
Figura 7. Sonda multiparamétrica CTD Idronaut OS 316.	12
Figura 8. Esquema da bóia ondógrafo <i>Seawatch</i> de Cabo <i>Sillero</i> (esquerda) e a sua posição de fundeamento (direita) (Fonte: Puertos del Estado).	13
Figura 9. Localização do perfilador de corrente (direita), aspecto exterior do ADCP (cima) e esquema do fundeamento do ADCP (baixo).	14
Figura 10. Marégrafo Thales instalado em Viana do Castelo.	15
Figura 11. Aspecto geral do ficheiro final de grandezas derivadas.	16
Figura 12. Caudais instantâneos dos rios Douro – lançado na Barragem de Crestuma-Lever (média $464 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) – e Minho – estação hidrométrica de Foz do Mouro (média $554 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) – no período 15 Fevereiro a 15 Março 2006. (fonte: Instituto da Água).	17
Figura 13. Observações meteorológicas realizadas nas estações de Viana de Castelo e Ferrel durante o período 15 Fev – 15 Mar 2006 (A vermelho estão representados os dados de Viana do Castelo, e a azul os de Ferrel).	19
Figura 14. Alturas de água medidas no marégrafo de Viana do Castelo no período 15 Fevereiro a 15 Março 2006.	20
Figura 15. Altura significativa, Período de Pico, Direcção da Onda e Direcção do Pico medidos na bóia ondógrafo do Cabo <i>Sillero</i> no período 15 Fevereiro a 15 Março 2006 (fonte: Puertos del Estado).	21
Figura 16. Período de pico (T_p), altura significativa (H_s) e direcção de pico (D_p) da agitação marítima no ADCP fundeado na região da Apúlia.	21
Figura 17. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, Secções 1, 2, 3, 5, 6 e 7 efectuadas a 24, 27, 28 Fevereiro e 2 Março 2006, respectivamente. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.	23
Figura 18. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, 24 Fevereiro – 7 Março 2006. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 3, 5, 10 e 20 dbar.	24
Figura 19. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, 24 Fevereiro – 7 Março 2006. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 40, 60 e 80 dbar.	25
Figura 20. Levantamento hidrológico (CTD) da área P. Varzim - A Guarda, Secções 15, 16, 18, 19, 20 e 21; 12 Março 2006. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.	26
Figura 21. Levantamento hidrológico (CTD) da área P. Varzim – A Guarda, 12–13 Março 2006. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 3, 5, 10, 20, 40 e 60 dbar.	27
Figura 22. Direcção, intensidade (mms^{-1}), componentes N-S (v) e E-W (u) da velocidade e intensidade de eco no perfilador de corrente (ADCP) fundeado na região da Apúlia, para o período de 24 de Fevereiro a 15 de Março de 2006.	29
Figura 23. Caudais instantâneos dos rios Douro – lançado na Barragem de Crestuma-Lever (média $495 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) – e Minho – estação hidrométrica de Foz do Mouro (média $459 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) – no período 15 Janeiro a 26 Fevereiro 2007. (Fonte: Instituto da Água).	30
Figura 24. Observações meteorológicas realizadas nas estações de Viana de Castelo e Ferrel durante o período 15 Janeiro – 26 Fevereiro 2007 (A vermelho estão representados os dados de Viana do Castelo, e a azul os de Ferrel).	32
Figura 25. Alturas de água medidas no marégrafo de Viana do Castelo no período de 15 Janeiro a 20 Fevereiro 2007. (fonte: Instituto Hidrográfico).	33
Figura 26. Altura significativa, Período de Pico, Direcção da Onda e Direcção do Pico medidos na bóia ondógrafo do Cabo <i>Sillero</i> no período de 15 Janeiro a 26 Fevereiro 2007. (fonte: Puertos del Estado).	34
Figura 27. Período de pico (T_p), altura significativa (H_s) e direcção de pico (D_p) da agitação marítima no ADCP fundeado na região da Apúlia no período de 15 de Janeiro a 26 de Fevereiro de 2007.	35
Figura 28. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, Secção 1, 2, 3 e 4; 24 Janeiro 2007. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.	36
Figura 29. Levantamento hidrológico (CTD) da área Porto – Viana do Castelo, 24–29 Janeiro 2007. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 3, 5, 10, 20, 40 e 60 dbar.	37
Figura 30. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, Secções 6, 7, 8, 9, 11 e 12; 3, 4 e 5 Fevereiro 2007. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.	38

Figura 31. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, Secções 13, 14, 15 e 16; 5 e 6 Fevereiro 2007. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.....	39
Figura 32. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, 3 – 6 Fevereiro 2007. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 3 e 5 dbar.	39
Figura 33. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, 3 –6 Fevereiro 2007. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 10, 20, 40 e 60 dbar.	40
Figura 34. Direcção, intensidade (mms^{-1}), componentes N-S (v) e E-W (u) da velocidade e intensidade de eco no perfilador de corrente (ADCP) fundeado na região da Apúlia, para o período de 15 de Janeiro a 26 de Fevereiro de 2007.	42

Índice de Tabelas

Tabela I. Especificações CTD OS 316 Idronaut.	12
Tabela II. Características dos sensores de vento e pressão das estações automáticas do Instituto Hidrográfico.	13
Tabela III. Características dos sensores do ADCP RDI 600 kHz.	14
Tabela IV. Algumas estatísticas para os caudais instantâneos (m^3s^{-1}) lançados no estuário rio do Douro a partir da Barragem de Crestuma-Lever em períodos seleccionados. (Fonte: Instituto da Água)	18
Tabela V. Algumas estatísticas para os caudais instantâneos (m^3s^{-1}) no rio Minho na estação hidrométrica de Foz do Mouro em períodos seleccionados. (Fonte: Instituto da Água).....	18
Tabela VI. Algumas estatísticas para os caudais instantâneos (m^3s^{-1}) lançados no estuário rio do Douro a partir da Barragem de Crestuma-Lever em períodos seleccionados. (Fonte: Instituto da Água)	31
Tabela VII. Algumas estatísticas para os caudais instantâneos (m^3s^{-1}) no rio Minho na estação hidrométrica de Foz do Mouro em períodos seleccionados. (Fonte: Instituto da Água).....	31

CAPÍTULO I: Introdução

1.1. Objectivos, Motivação e Organização

O objectivo principal deste trabalho consiste na caracterização em termos hidrológicos da região da plataforma continental entre Aveiro e Finisterra, com especial atenção à zona envolvente da foz dos rios Douro e Minho, com avaliação da respectiva resposta espaço-temporal ao forçamento fluvial e meteorológico em situação de Inverno. O conhecimento dos processos físicos envolvidos na zona em estudo é crucial para a compreensão da sua dinâmica, que determina variadíssimos processos de interesse para a zona em estudo, quer em termos científicos e económicos, quer sociais. Como exemplo prático, pode-se referir a necessidade de entender (e eventualmente desenvolver capacidades de previsão) situações como a que aconteceu no seguimento do colapso da ponte Hintze Ribeiro, sobre rio Douro (Março de 2001), quando os corpos de algumas vítimas foram encontrados na zona de Finisterra, três dias após o acidente. O conhecimento da dinâmica associada à região da plataforma facilita também a implementação de modelos numéricos que descrevam e prevejam esses mesmos processos.

Para satisfazer estes propósitos foram realizados dois levantamentos hidrológicos da área entre Aveiro e Finisterra (campanhas NICC06 e NICC07), integrados no Projecto NICC (Norwest Iberian Coastal Current - POCTI/CTA/49563/2002).

Não descurando os interesses de carácter científico e prático inerentes ao estudo deste tema, a principal motivação para o seu desenvolvimento prendeu-se com a necessidade de aprofundar conhecimentos anteriormente obtidos sobre instrumentação e processamento de dados oceanográficos, particularmente de sondas multiparâmetro do tipo CTD. Apesar de não ter sido possível a participação na totalidade das campanhas oceanográficas mencionadas neste trabalho, a elaboração desta tese concedeu a oportunidade de participar num número alargado das campanhas oceanográficas efectuadas no âmbito do Projecto NICC. Estas experiências, conjuntamente com a possibilidade de efectuar o tratamento e processamento dos dados recolhidos no seu âmbito permitiram o alargar de conhecimentos em instrumentação e engenharia oceanográfica.

Este trabalho desenvolve-se segundo uma estrutura na qual, após o capítulo introdutório onde se efectua também uma breve descrição do estado da arte intrínseca a este estudo, se segue um capítulo dedicado ao enquadramento regional da área em estudo. No terceiro capítulo descreve-se a metodologia da aquisição de dados, bem como o processamento aplicado. Seguidamente, o quarto capítulo descreve os resultados obtidos e desenvolve discussão em torno dos mesmos. O capítulo cinco conclui e resume as noções discutidas no capítulo anterior. O documento culmina com uma listagem das referências citadas ao longo de todo o texto deste trabalho.

1.2. Estado da Arte

A plataforma continental define-se como a porção dos fundos marinhos que começa na linha de costa e desce com um declive suave até à vertente continental (onde o declive é muito mais pronunciado) (Rodrigues, 2001). É uma área de grande produtividade capaz de fornecer grandes quantidades de matéria particulada e dissolvida ao oceano. Constitui ainda uma zona de trocas, onde os fluxos das propriedades bioquímicas e geofísicas são motivo de processos complexos. A falta de conhecimento dos processos que ocorrem entre os oceanos e os continentes, e que são determinantes para a compreensão dos ciclos biogeoquímicos nestas zonas, é um facto amplamente reconhecido. No entanto, o conhecimento destes processos constitui um pré-requisito fundamental para a previsão da consequência das mudanças climáticas e das perturbações antropogénicas, no sentido de se poder intervir antecipadamente sobre essas mesmas alterações, minimizando possíveis danos consequentes.

Estas questões têm sido consideradas em vários projectos interdisciplinares em contextos variados e em diferentes regiões do Globo. A título de exemplo, um desses projectos é o “Land-Ocean Interaction Study” (LOIS), um projecto interdisciplinar do Reino Unido (1992-1998), que se debruçou sobre a plataforma ocidental escocesa. O projecto considerou os processos estuarinos e costeiros na determinação da influência dos fluxos de material no nível do mar, no clima e em terra (Wilkinson, 1977).

Na plataforma Portuguesa só muito recentemente se começaram a realizar campanhas oceanográficas interdisciplinares. Os primeiros cruzeiros oceanográficos foram realizados no início da década de 90. “PLAMIBEL” (1990-1992) e “PLUTUR” (1990-1992) tiveram como objectivo o estudo das plumas dos rios minhotos (Oliveira et al., 1994, 1995; Oliveira, 1994) e dos rios Tejo e Sado (Garcia, 1997; Jouanneau et al., 1998), compreendendo essencialmente a plataforma interna e média. As campanhas “CORVET” em 1996 e “CLIMA” em 1997, ambas incidindo nas zonas da plataforma e vertente entre o Douro e o Minho, estudaram a hidrologia em situação de Inverno e de transição do Verão para o Inverno. A campanha “OMEX-II”, integrada no projecto da União Europeia “Ocean Margin Exchange” (1997-2000), teve o intuito de melhor conhecer o sistema biogeoquímico forçado por mecanismos físicos e caracterizar os processos físicos mais relevantes em regime de Inverno (Vitorino et al., 2002a, b). Os cruzeiros integrados no projecto “European Margins Strata Formation” (EUROSTRATAFORM) proporcionaram, entre 2002 e 2004, o estudo da margem continental Portuguesa. Os seus resultados permitiram comparar áreas de plataforma e vertente com e sem importantes contribuições fluviais. No seu âmbito foram comparadas ainda áreas com forte e fraca influência de maré e/ou tempestades, vertentes continentais suaves e abruptamente cortadas por profundos canhões submarinos, onde o sedimento se acumula com áreas onde o sedimento atravessa a vertente e se desloca rapidamente para a planície abissal e margens continentais glaciais e não glaciais (Oliveira, 2007).

Os dados obtidos nos cruzeiros referidos indicaram que a hidrologia da plataforma continental Oeste Portuguesa apresenta variações interanuais e sazonais importantes, estando por vezes muito dependente do volume de água doce introduzido pelos rios que nela desagüam. Possibilitaram também o estabelecimento de quatro situações tipo, características de diferentes épocas do ano. A situação típica de Outono apresenta-se com caudais fracos, com ausência de frentes termo halinas bem definidas, embora as águas se encontrem estratificadas. A água estuarina superficial encontra-se, normalmente, muito limitada à plataforma interna e a frente salina é pouco nítida. A camada nefelóide de fundo encontra-se bem desenvolvida, decrescendo de intensidade para a superfície (Oliveira, 1994). No Inverno, existem frequentemente caudais elevados, que ajudam a caracterizar uma frente salina que se estende por toda a plataforma, principalmente entre os rios Douro e Minho, afectando toda a coluna de água. Esta estrutura situa-se, geralmente, entre os 50 e os 120 m de profundidade e separa as águas costeiras menos salinas, das águas oceânicas. A temperatura é bastante homogênea, com valores elevados, da ordem dos 16-17° C, em profundidades intermédias (50-100 m). Estes valores são originados por episódios de “downwelling” associados a ventos de S-SW, com as águas superficiais mais quentes a ficarem aprisionadas na plataforma média. A nefelometria é caracterizada por uma camada nefelóide superficial muito limitada à plataforma interna e por uma camada nefelóide de fundo muito intensa (Vitorino et al., 2002a, b). Em situação de Primavera, o aquecimento das águas costeiras, com redução do caudal dos rios, faz desaparecer progressivamente a frente salina, surgindo uma termoclina sazonal que se situa a 25-50 m de profundidade, separando as águas mais quentes e menos salinas da superfície das águas frias de fundo. As águas de superfície são advectadas para o largo, em grande parte devido à acção do vento de N-NW. É possível encontrar duas camadas nefelóides bem desenvolvidas e separadas por águas mais límpidas, estendendo-se a camada superficial até ao bordo da plataforma. A camada nefelóide de fundo apresenta valores de turbidez mais elevados (Oliveira, 2007). No Verão, as águas mais frias afloram, interrompendo a termoclina sazonal, com separação nítida das águas superficiais, estabelecendo-se uma espécie de barreira vertical à progressão das águas costeiras. A turbidez tende a ser homogênea ao longo da coluna de água, sendo as águas túrbidas advectadas superficialmente para o largo, pela acção do vento (Oliveira, 1994).

Para além dos projectos e campanhas descritos, a hidrografia da margem continental NW Ibérica tem sido também estudada e descrita em diversos outros trabalhos. Alguns debruçaram-se sobre o estudo do afloramento costeiro que ocorre nesta região, relacionando-o com o forçamento do vento (Madelain, 1967; Wooster et al., 1976; Fraga, 1981; Fiúza et al., 1982; Frouin et al., 1990; Peliz e Fiúza, 1999; Barton et al., 2001; Peliz et al., 2002 e Alvarez et al., 2008). Estes autores concluíram que as alterações espaciais nos episódios de upwelling ocorrem devido à interacção entre o regime macroscópico de vento e a orografia costeira. Em particular, verificaram que os Cabos podem induzir importantes variações de tensão do vento, produzindo máximos de upwelling localizados e filamentos de upwelling.

Martins (1996) observou as correntes superficiais na zona Ibérica Atlântica através da utilização de flutuadores derivantes. Haynes e Barton (1990) estudaram o fluxo de água para norte, ao longo do talude W Ibérico, e as mudanças no transporte, foram determinadas por Frouin et al. (1990) e Mazé et al. (1997). Esta corrente transporta para norte água de origem subtropical, ao longo do bordo superior da vertente continental Ibérica. A corrente superficial para o pólo é no sentido oposto à circulação normal de Verão, nesta região, quando a água fria de upwelling é advectada equatorialmente. Sugere-se que o escoamento para o pólo é gerado por forçamento termo halino, quando os ventos de Sul enfraquecem ou invertem.

A turbidez associada às águas da margem continental NW Ibérica foi estudada por McCave e Hall (2002). Concluíram que a distribuição da turbidez óptica, causada pela concentração de matéria em suspensão na coluna de água sobre a margem Ibérica, mostra características relacionadas com a hidrografia.

Schmidt et al. (2002) inferiram os tempos de residência de partículas em águas superficiais na margem NW Ibérica, tendo comparado períodos de Inverno e pré-afloramento costeiro, enquanto Huthnance et al. (2002a) discutiram o balanço do fluxo de água na Margem Continental NW Ibérica e descreveram a estrutura e o fluxo geostrofico das massas de água profundas, intermédias e superficiais, bem como o regime de circulação oceânica de Inverno e de Verão. Peliz et al. (2002) e Rios et al. (1992) investigaram as regiões fonte das massas de água superiores, intermédias e profundas que afectam a Margem Continental NW Ibérica. Sherwin et al. (2002 a, b) e Barton et al. (2001) estudaram o regime de ondas internas, associado à dissipação turbulenta, na plataforma continental próxima de Vigo. Relvas et al. (2007) focaram-se nos processos físicos de mesoescala, complementando estudos anteriores de larga escala. Concluíram que a circulação de Inverno, exibe também significativa actividade de mesoescala. Esta actividade surge na forma de vórtices dispersos provenientes da corrente da vertente para o pólo, dos eventos intermitentes de upwelling e de escoamentos transientes costeiros para o pólo.

Um projecto recente denominado “Norwest Iberian Coastal Current” (NICC 2005-2007), visou a hipótese de que o escoamento fluvial, mesmo quando não excessivamente elevado, combinado com ventos de Sul, seria suficiente para induzir a formação de uma corrente costeira capaz de promover o transporte efectivo para Norte de água, sedimentos e material biológico, provenientes quer da plataforma, quer dos estuários. Tratou-se de uma proposta para iniciar um estudo de base do sistema da Corrente Costeira Noroeste Ibérica, com o propósito compreender do seu papel na dinâmica da plataforma NW Ibérica. O período de realização do projecto permitiu, principalmente, consolidar a formulação de hipóteses. Tratou-se essencialmente de um estudo de campo, embora se espere ainda tirar grande proveito das capacidades de modelação com assimilação de dados, posteriormente. Muito embora os dados recolhidos não tenham revelado de modo exuberante a existência de uma corrente costeira forçada pelo escoamento fluvial, reuniu-se evidência de que o Douro deverá ter contribuído para o reforço de uma corrente induzida pelo vento (Silva et al., 2008).

O presente trabalho assenta na descrição hidrológica da zona interna da plataforma continental, em situações de Inverno, a partir de alguns dados recolhidos no âmbito do projecto NICC. Os trabalhos enumerados acima apoiaram essa descrição, como ponto de partida de algumas descrições hidrológicas já efectuadas e no âmbito do reconhecimento da área em estudo.

CAPÍTULO II: Enquadramento Regional

2.1. Morfologia da Área em Estudo

A área em estudo estende-se entre as latitudes 39.8° N e 42.9° N e entre a costa e o meridiano 9.3° W, numa área total de aproximadamente 9507.694 km² (Figura 1). A orientação geral da costa é NNW-SSE, sendo esta predominantemente rochosa. A plataforma continental nesta zona é estreita, variando entre 33 km em frente às rias Galegas e 67 km em frente ao rio Douro. A sul da foz do rio Minho, o pendor da plataforma é regular e suave, dispondo-se as batimétricas, de um modo geral, de forma paralela à costa (Figura 2). A norte da foz do rio Minho, o bordo da plataforma está mal definido e o pendor acentua-se. Comparando os valores acima referidos com os determinados para o conjunto das plataformas continentais do mundo (Musellec, 1974), verifica-se que a plataforma continental portuguesa é estreita (a largura mundial média é de 75 km), localizando-se o seu bordo, em geral, a profundidades maiores que as da média mundial (130 m). Na área estudada, o bordo da plataforma é bem definido e localiza-se a profundidades entre os 130 m e os 190 m, estando em média nos 160 m (Figura 2).



Figura 1. Imagem aérea da costa Oeste da Península Ibérica com indicação da área estudada (fonte: ESA).

Para esta região de Aveiro a Finisterra aflui 65% do caudal dos principais rios portugueses (Minho, Lima e Douro) e desembocam as 4 rias Baixas Galegas (Ria de Vigo, Ria de Pontevedra, Ria de Arosa e Ria de Muros) (Figura 2).

A plataforma continental portuguesa é uma superfície com um pendor médio de 3%, apresentando alguns relevos de maior ou menor amplitude (Rodrigues, 2001). Nela podem ser identificadas três zonas distintas: uma zona interna, entre a linha de costa e o nível batimétrico de 20 m, com pendor variável entre 0.9-3.5%; uma zona intermédia, que se define até aos 100 m de profundidade, constituída por zonas mais aplanadas, com um pendor inferior a 0.5%; uma zona externa, até ao bordo da plataforma, com uma inclinação variável, entre 0.5-3.5%. O declive da plataforma continental ao largo das Rias Baixas Galegas é mais acentuado do que o da plataforma na zona do Minho, que atinge rapidamente profundidades superiores a 100 m, a poucos quilómetros da costa (Dias *et al.*, 2002 a, b).

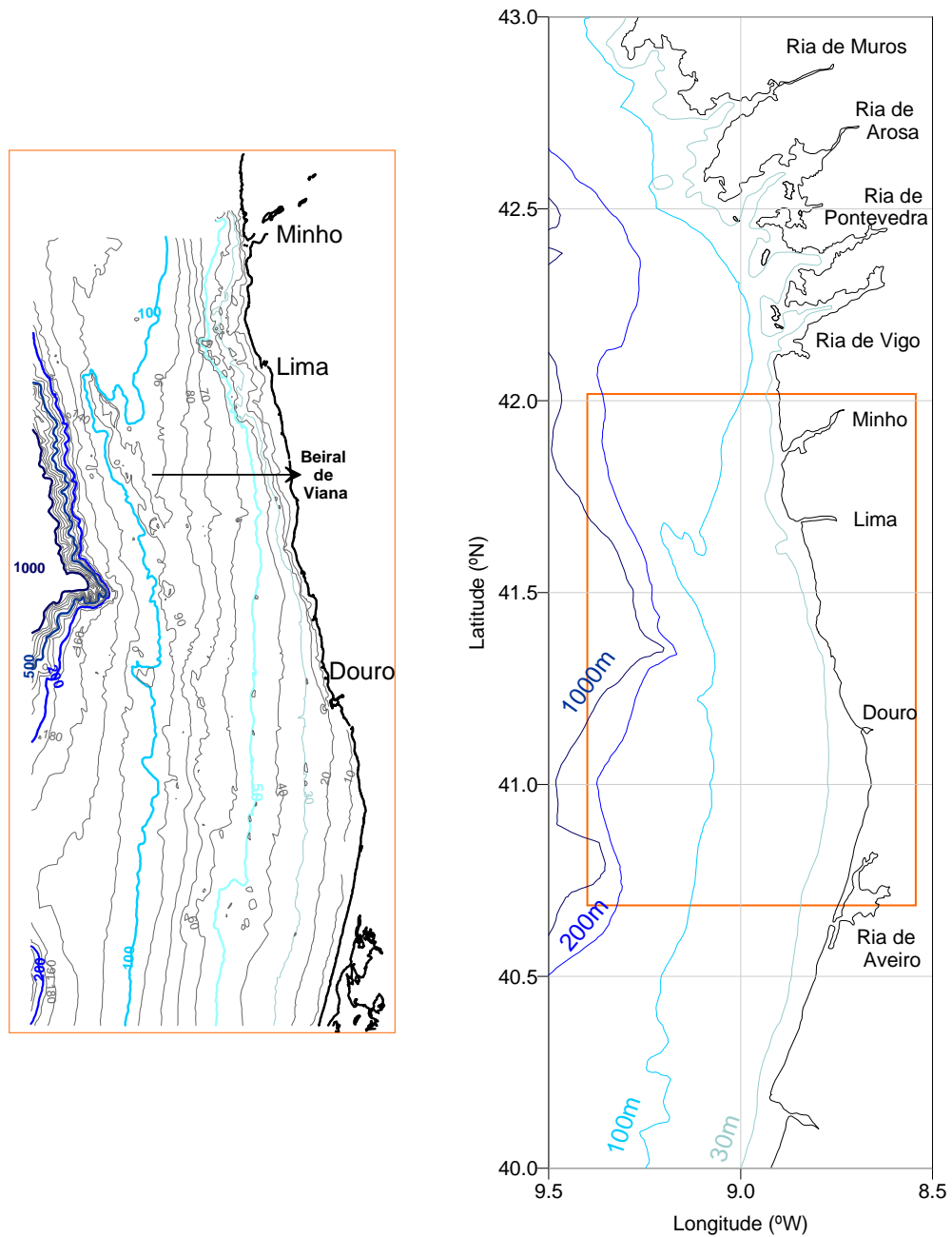


Figura 2. Mapa batimétrico da plataforma continental do Minho-Galiza (direita) e pormenor da área entre a Ria de Aveiro e o rio Minho (esquerda). O espaçamento das linhas batimétricas é de 10 m até aos 100 m, 20 m entre os 100 m e os 200 m e de 100 m a partir dos 200 m.

O mapa batimétrico da plataforma continental Minho-Galiza salienta ainda a presença do relevo rochoso denominado por Beiral de Viana (Figura 2). Este acidente localiza-se na plataforma externa, aproximadamente, em frente à foz do Rio Lima. O Beiral de Viana tem o seu ponto mais alto na Pedra de S. Lúmedio, onde atinge 88 m de profundidade e apresenta comprimento de 50 km (Vanney & Mougén, 1981; Rodrigues, 2001). O Beiral de Viana constituiu uma barreira morfológica, tendo influenciado, até ao presente, a circulação sedimentar, actuando como barreira física que previne a deriva de algum material sedimentar de grão fino para Oeste (Rodrigues, 2001). A origem deste relevo tem vindo a ser estudada por alguns investigadores portugueses como, por exemplo, Rodrigues e Drago (1990), Drago *et al.* (1991), Magalhães *et al.* (1991a) e Rodrigues (2001).

2.2. Condições Meteorológicas

A variação sazonal que experimenta a distribuição das pressões atmosféricas desempenha um papel fundamental na climatologia da zona, estando afectada por alterações da posição do anti-ciclone dos Açores. Em geral, têm-se duas situações características dependentes da sua posição. No Inverno, a localização normal do anti-ciclone dos Açores é a Noroeste da costa africana e um centro de baixas pressões na Islândia induz ventos de SW para a costa. No Verão, o anti-ciclone move-se para norte, provocando ventos de NNE.

O clima da região caracteriza-se também pela passagem de sucessivas depressões, a que se associam superfícies frontais responsáveis por variações térmicas e mudanças de rumo dos ventos. O clima regional apresenta forte gradiente Oeste-Este de propriedades meteorológicas, resultante da diminuição progressiva da intensidade e frequência da penetração das massas de ar atlânticas (Daveau *et al.*, 1977, 1985). Na área em estudo (Figura 2), as temperaturas anuais médias são inferiores a 15 °C e as pluviosidades anuais são elevadas, cerca de 1000 mm junto ao litoral. As precipitações abundantes e prolongadas são, em geral, provocadas pelas massas de ar tropical húmido que, mesmo no Inverno, não deixam arrefecer excessivamente o tempo (Dias, 1987).

2.3. Águas Superficiais

As águas de superfície que ocupam, aproximadamente, os primeiros 100 m da coluna de água, apresentam grande variabilidade em função do afloramento costeiro e da forte influência do fluxo dos rios (Peliz *et al.*, 2002). Durante o Verão, em condições de afloramento costeiro, a variação da temperatura nas águas superficiais é grande, desde 14 °C a mais de 20 °C, e coincidem com uma elevada estratificação das águas superficiais e com uma forte termoclina localizada abaixo de uma camada de mistura fina (Peliz *et al.*, 2002).

Estes autores observaram os mais baixos valores de salinidade (<35.7) em estações costeiras, com profundidades inferiores a 150 m. A influência do fluxo dos rios nestas zonas é notória, sendo particularmente mais evidente na proximidade do estuário do Rio Douro, a cerca de 41° N, onde foram medidos valores mínimos de salinidade (35.25) nas águas superficiais.

A faixa de águas pouco salinas que se estende ao longo da costa constitui um aspecto característico das zonas costeiras NW Ibéricas. Esta é originada pela influência de fontes de água doce: por grandes rios como o Douro e o Minho, comparados com outros mais pequenos como o Lima e o Cavado e pelas Rias Galegas (Martins, 2003). Esta banda com contornos variáveis foi designada por Pluma Flutuante NW Ibérica (“Western Iberia Buoyant Plume”) por Peliz *et al.* (2002) e Otero *et al.* (2008).

Na Galiza, a salinidade das águas superficiais sobre a plataforma é também relativamente baixa, devido à influência das rias. Entre as Rias de Muros e a Ria de Pontevedra, abaixo da camada superior de água que ocupa os primeiros 30-40 m, a salinidade é muito influenciada pela água doce e a temperatura é muito variável (Gonzalez *et al.*, 1980).

No Inverno, como as cheias dos rios introduzem uma maior quantidade de água doce no oceano, a estratificação salina resultante permite a ocorrência de um máximo de salinidade sub-superficial sobre a plataforma, a cerca de 100 m de profundidade, assim como de um máximo de temperatura sub-superficial (Huthnance *et al.*, 2002). Durante a estação fria, a advecção de água salina devido ao fluxo da corrente dirigida para o pólo, sobre a vertente, permite que se desenvolva também um nível máximo de salinidade, próximo do talude superior, entre águas menos salinas costeiras e águas oceânicas do largo (van Aken, 2001).

A Figura 3 pretende representar a distribuição de temperatura da superfície do mar (média mensal para cada ponto), entre 1985 e 2006, para os meses de Janeiro a Março. As águas costeiras apresentam uma gama de temperaturas entre os 12.5 e os 13.5 °C, encontrando-se as águas mais frias, mais próximas da costa. No mês de Janeiro, o gradiente transversal de temperatura é mais intenso dos que nos meses de Fevereiro e Março, e as temperaturas ao largo, mais elevadas. Nos meses de Janeiro e Fevereiro, são mais notórias as contribuições estuarinas, através das plumas de água fria superficial nas zonas em frente às desembocaduras dos rios.

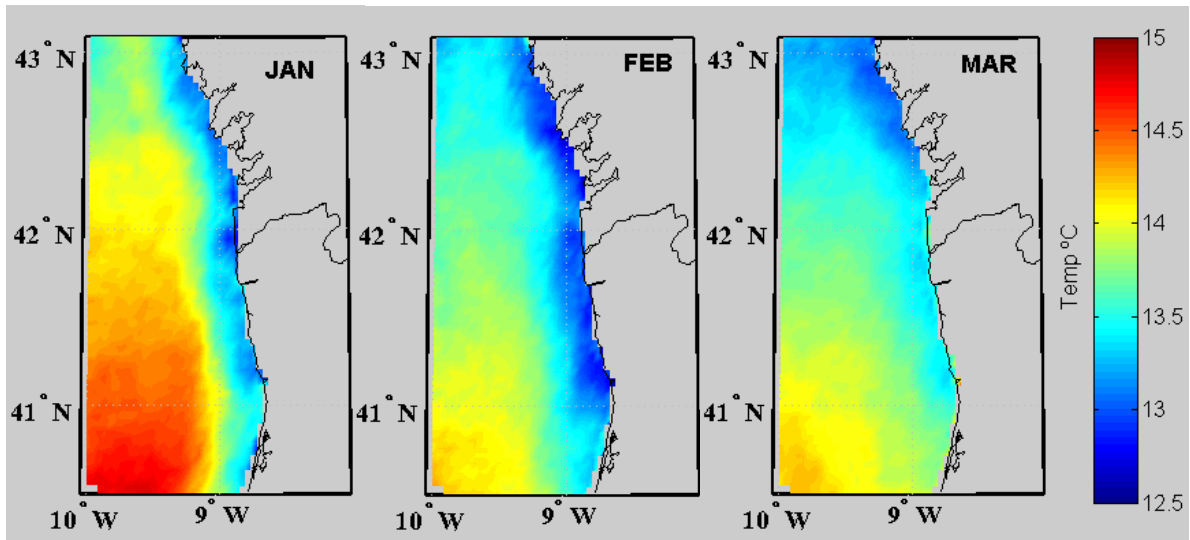


Figura 3. Distribuição da temperatura da superfície do mar. Composição de imagens de satélite obtidas entre 1985 e 2006 para os três meses de Inverno, pelo sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo do NOAA (Cortesia de Maria Inés Alvarez Fernandez).

2.4. Correntes Superficiais e Circulação

As observações *in situ* de correntes são escassas e pontuais, tendo algumas sido apresentadas por Vitorino (1989, 1999, 2000) e Silva (1992).

Na plataforma continental, no Verão e Primavera foi assinalada à superfície uma corrente geral para sul, mas no bordo da plataforma e em profundidade continua a existir a contracorrente para norte. Esta corrente sub-superficial tem um papel importante nas áreas de influência do *upwelling*. Verificou-se que funciona como uma corrente de contorno, sendo intensificada no final da estação de afloramento, deslocando o seu núcleo para um nível mais superficial (Vitorino, 1989).

O padrão de circulação de Inverno é muito menos conhecido que o do Verão. Durante o Inverno e Outono, as águas da plataforma, de modo geral, deslocam-se para norte. À superfície, o fluxo para norte, induzido pelos gradientes de densidade e devido à acção dos ventos de S-SW, é comprovado pelo deslocamento das plumas dos rios nesse sentido (Drago *et al.*, 1998). Contudo, no litoral devido essencialmente à acção da agitação de W, há um escoamento predominante para sul (deriva litoral).

No Inverno, os ventos de tempestade, que sopram predominantemente de SW, induzem um transporte de Ekman em direcção à costa, responsável pelo desenvolvimento de eventos de *downwelling* (Fiúza *et al.*, 1982; Haynes e Barton, 1990; Vitorino *et al.*, 2000, 2002 a, b). Nestas situações, o empilhamento de água junto à costa origina a formação de um fluxo imergente, com uma corrente junto ao fundo dirigida para o largo. Este padrão de circulação favorece a extensão das águas oceânicas quentes sobre a plataforma e o estabelecimento da estratificação térmica (Vitorino e Coelho, 1998).

Na plataforma média, medições de correntes durante o Inverno de 1996/97 revelaram, em condições de *downwelling* com fluxos para os pólos, velocidades de correntes que frequentemente excedem os 20 cm/s (Vitorino *et al.*, 2001).

2.5. Marés

De acordo com a Tabela de Marés do Instituto Hidrográfico (2008), as marés, no NW da Península Ibérica, são predominantemente semi-diurnas (dominância da componente lunar, M_2), com períodos de 12.42h, com uma segunda contribuição diurna da componente solar, S_2 (12h). O regime de marés é meso a macrotidal, na classificação de Davies (1964), atingindo nas marés de águas vivas uma amplitude média de 3.02 m, em Viana do Castelo. A máxima amplitude de maré na região é de cerca de 3.9 m, sendo a mínima <1 m.

As variações latitudinais da batimetria provocam modificações importantes na onda de maré, que originalmente se move para norte como uma onda de Kelvin (Marta-Almeida e Dubert, 2006). Essas variações batimétricas têm larga influência no ajustamento do campo de velocidades. São responsáveis pela amplificação das correntes de maré, inversão da rotação das elipses de maré e da sua polarização em determinadas direcções (Marta-Almeida e Dubert, 2006).

Sobre a plataforma, a maré exhibe uma estrutura barotrópica e origina importantes movimentos transversais (Oliveira, 2001).

2.6. Agitação Marítima

A plataforma ocidental Ibérica, pela sua localização geográfica, está directamente exposta à ondulação gerada no Atlântico Norte, apresentando, por isso, ondas com alturas e períodos superiores aos esperados se apenas fosse considerada a acção dos ventos locais. O regime de ondas é, assim, muito energético no NW da Península Ibérica. A altura média das ondas varia muito com a estação do ano (Vitorino *et al.* 2002 a, b). No Verão, as ondas têm alturas significativas de 1 a 3 m e períodos inferiores a 10 s. Durante as tempestades de Inverno as ondas ultrapassam frequentemente os 7 m, apresentando tipicamente períodos de 13 s (Costa, 1994), atingindo algumas vezes 18 s (Costa, 1994; Vitorino *et al.* 2002 a, b).

Na costa oeste, o regime de ondas é dominado por ondas (“swells”) de NW (73%), ocorrendo também ondas de W (16%) (Costa, 1994).

Durante as tempestades, a maioria das ondas tem altura de 5-6 m, mas em cada 3-4 anos ocorrem tempestades mais violentas que originam ondas de 9-12 m de altura (Pita e Santos, 1989). A costa Portuguesa está exposta, em média, a três tempestades por ano, demorando cada uma cerca de 4 dias (Pita e Santos, 1989). Estas tempestades podem ter uma influência importante na hidrologia da região, bem como no forçamento das correntes.

2.7. Ondas Internas

As ondas internas são fenómenos ubíquos no oceano mundial, sendo particularmente comuns no bordo das plataformas continentais e sobre as dorsais oceânicas. A sua importância nos oceanos é mais frequentemente referida que quantificada. As ondas internas podem, por exemplo, desempenhar um papel importante na mistura vertical da água, constituindo um factor de grande importância na circulação oceânica (Munk e Wunsch, 1998; Egbert e Ray, 2000).

É geralmente aceite que o principal factor implicado na formação das ondas internas é a interacção entre marés barotrópicas e a topografia submarina, em locais onde esta é escarpada, como sucede por exemplo próximo do bordo continental e de canhões submarinos (Barton *et al.*, 2001).

As amplitudes das ondas internas variam de metros a dezenas de metros, os períodos de minutos a horas e as suas escalas espaciais de metros a quilómetros (Quaresma, 2006). As velocidades orbitais associadas a estas oscilações podem ser suficientemente elevadas para ressuspender o sedimento de fundo (Bogucki *et al.*, 1997; Noble e Xu, 2003), contribuindo para a alteração da sua distribuição (Cacchione *et al.*, 2002) e para a geração de camadas nefelóides de fundo (Cacchione e Drake, 1986; Puig *et al.*, 2004).

As ondas internas não são geralmente visíveis à superfície, mas a sua assinatura passa pela alteração da rugosidade e cor, como se observa na Figura 4.

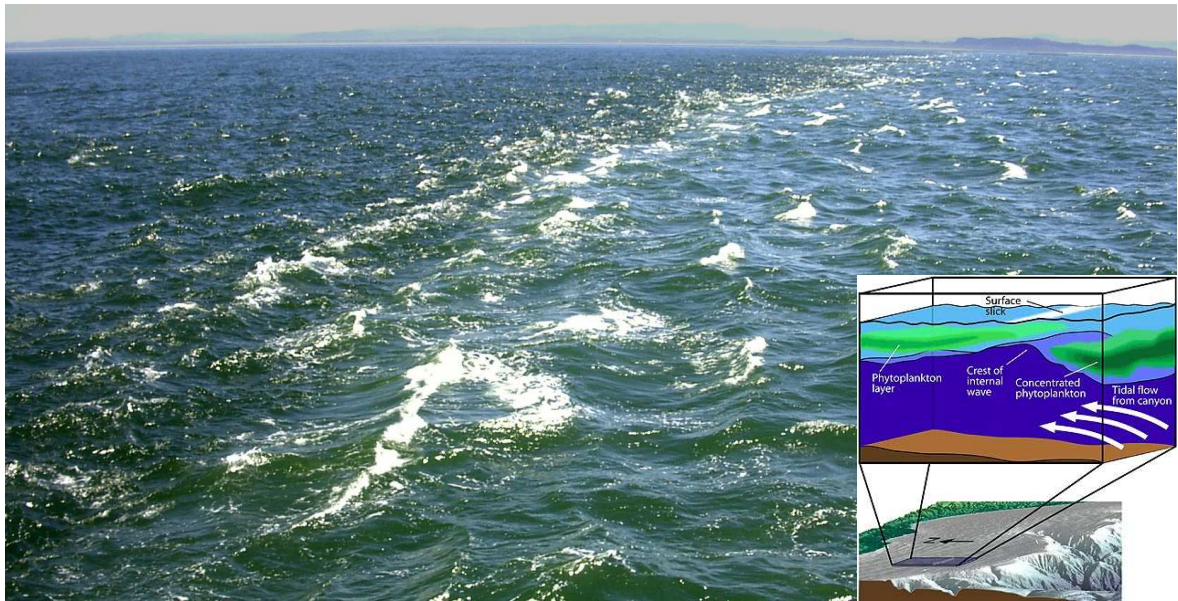


Figura 4. Fotografia da assinatura superficial de uma onda interna e uma representação simplificada de uma onda interna formada no Canhão Submarino de Monterey, no canto inferior direito (Fonte: Ryan et al., 2005).

2.8. Sedimentos

Na plataforma Atlântica e em especial a norte dos 41° N, a ressuspensão de sedimento é na sua maior parte provocada pela agitação marítima. A acção da corrente de maré complementa a da agitação marítima, remobilizando os sedimentos de fundo. Uma vez ultrapassado o limiar de entrada em movimento das partículas sedimentares, estas começam a deslocar-se sobre o fundo e, quando na presença de uma corrente sobrejacente, dá-se início ao transporte sedimentar e à geração de formas de fundo (Oliveira, 2001).

Durante os eventos extremos (temporais que ocorrem menos de 13 dias num ano) (Vitorino *et al.*, 2000) verifica-se o incremento do fluxo geral de sedimentos, quer da remobilização de fundo, quer do sedimento resultante do aumento da descarga fluvial.

CAPÍTULO III: Metodologia

Entre 24 de Fevereiro e 14 de Março de 2006 decorreu a campanha NICC 2006-02. Foi efectuado, a bordo do NRP *Andromeda*, um levantamento hidroológico da área entre Aveiro e o Cabo Finisterra (24 Feb – 7 Mar) através de estações CTD. Parte do levantamento foi repetida para avaliação da variabilidade temporal dos campos na área mais directamente influenciada pelos escoamentos dos rios Douro e Minho (12-13 Mar). Obteve-se uma sucessão cronológica de perfis de corrente na zona da Apúlia, durante cerca de 18 dias (24 Feb – 14 Mar). As condições meteorológicas – vento e pressão atmosférica – foram monitorizadas em permanência em duas estações costeiras instaladas, respectivamente, na ETAR de Viana do Castelo e junto à Praia d’El Rei, em Peniche – Ferrel. A agitação marítima e a corrente superficial foram obtidas através do ADCP fundeado na Apúlia e da bóia ondógrafo do Cabo *Sillero*, disponibilizados pelos Puertos del Estado, para o período total das observações. Os caudais instantâneos dos rios Douro e Minho foram disponibilizados pelo Instituto da Água, sob concordância da EDP, tendo sido medidos pela estação hidrométrica da Foz do Mouro (Minho) e pela barragem de Crestuma-Lever (Douro). Dispôs-se ainda de uma série temporal de alturas de água (15 Feb – 15 Mar), medidas pelo marégrafo de Viana do Castelo, da rede de marégrafos do Instituto Hidrográfico.

Entre 24 de Janeiro e 6 de Fevereiro de 2007 decorreu a campanha NICC 2007-01. A bordo do NRP *Auriga*, foi efectuado um levantamento hidroológico semelhante ao realizado na campanha de 2006: área entre o Porto e Viana do Castelo (24 - 29 Jan) e área entre Aveiro e o Cabo Finisterra (3 – 6 Feb). Os parâmetros de corrente foram igualmente obtidos pelo ADCP fundeado na mesma zona (Apúlia) durante 40 dias (17 Jan – 26 Feb). A agitação marítima, os caudais fluviais e as alturas de água foram obtidas, entre 15 Jan e 26 Feb, da mesma forma que na campanha de 2006.

3.1. Aquisição de dados

No sentido de identificar as massas de águas em presença, observar a estrutura hidroológica e acompanhar as modificações ocorridas à escala do evento meteorológico foram efectuados levantamentos hidroológicos da região da plataforma continental envolvente das embocaduras dos rios Douro e Minho, com extensão à plataforma galega, usando uma sonda CTD acoplada a um nefelómetro. Foi igualmente monitorizada a corrente a norte do rio Douro. Os dados meteorológicos, de maré, de agitação marítima e de contribuição fluvial apoiaram este estudo.

3.1.1 Observações

As Figura 5 e 6 esquematizam o levantamento hidroológico da região da plataforma continental envolvente das embocaduras dos rios Douro e Minho, com extensão a toda a plataforma das Rias Baixas, integrado nas campanhas do projecto NICC. As localizações do ADCP, da bóia ondógrafo, das estações meteorológicas e do marégrafo utilizados neste estudo estão também representadas nestas figuras.

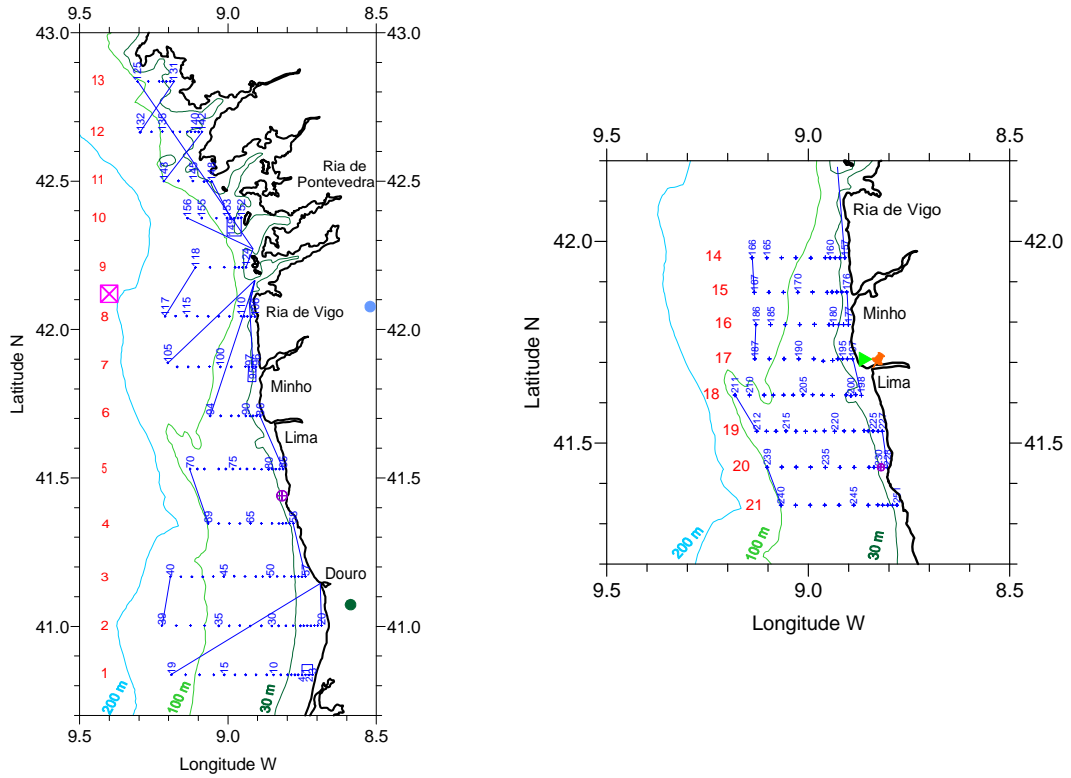


Figura 5. Levantamento hidrográfico (CTD) (Campanha NICC 2006-02) geral da área Aveiro-Finisterra (24 Fevereiro – 7 Março 2006, à esquerda) e levantamento detalhado da área Douro – Minho (12-13 Março 2006, à direita). Indicam-se os números das fiadas CTD, a localização do perfilador de corrente (ADCP) (⊕), do marégrafo (•), da estação meteorológica de Viana do Castelo (▶), da bóia ondógrafo (⊗) e das estações hidrométricas de Crestuma (●) e da Foz do Mouro (●).

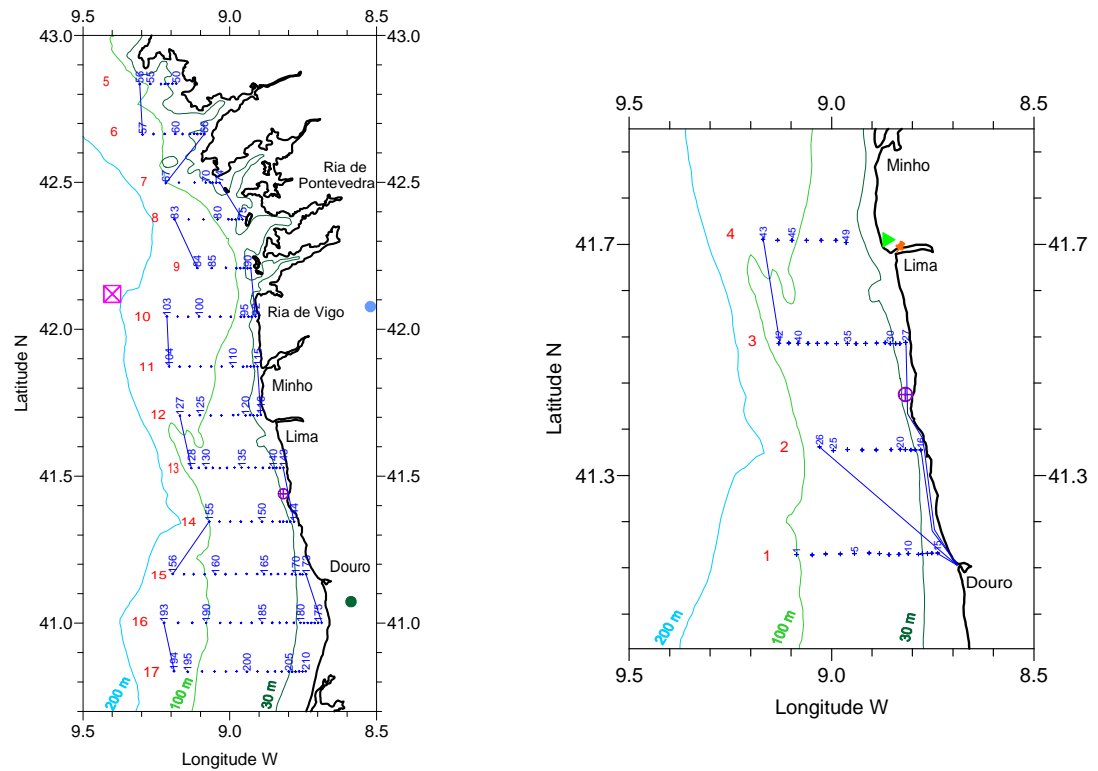


Figura 6. Levantamento hidrográfico (CTD) (Campanha NICC 2007-01) geral da área Aveiro-Finisterra (3-4 e 5-6 Fevereiro 2007, à direita) e levantamento detalhado da área Porto-Viana do Castelo (24, 26 e 29 Janeiro 2007, à esquerda). Indicam-se os números das fiadas CTD, a localização do perfilador de corrente (ADCP) (⊕), do marégrafo (•), da estação meteorológica de Viana do Castelo (▶), da bóia ondógrafo (⊗) e das estações hidrométricas de Crestuma (●) e da Foz do Mouro (●).

3.1.1 Equipamento

3.1.1.1 Sonda CTD

Os perfis de temperatura, condutividade e turbidez foram obtidos a partir de uma sonda CTD IDRONAUT Ocean Seven 316 (Figura 7), desde a superfície até próximo do fundo.



Figura 7. Sonda multiparamétrica CTD Idronaut OS 316.

A sonda CTD é constituída pelo corpo estanque, que encerra os circuitos electrónicos, um cilindro em titânio – o que lhe confere um alcance até 7000 m de profundidade – pelos sensores principais e opcionais e pela ficha de ligação ao cabo electromecânico de suspensão e transferência de sinal.

Sensores piezocerâmicos cuja compressão é transmitida fisicamente por óleo de silicone medem a pressão. Os sinais que se geram são captados pelo circuito associado ao sensor. Os sensores condutivos medem a condutividade entre sete eléctrodos de platina, instalados dentro de um tubo de quartzo. O sensor de temperatura consiste num termómetro de resistência de platina, que permite uma boa precisão e velocidade de resposta, e varia a sua resistência eléctrica em função da variação da temperatura. A medição da turbidez da água é realizada através de um sensor (Nefelómetro) calibrado com uma solução padrão de formazina, unidades: FTU (Formazine Turbidity Units). A medição da distância ao fundo, com um altímetro, permite controlar a descida do CTD relativamente ao fundo (Tabela I).

Tabela I. Especificações CTD OS 316 Idronaut.

<i>Sensor</i>	<i>Unidades</i>	<i>Alcance</i>	<i>Precisão</i>	<i>Resolução</i>	<i>T. Resposta</i>
Pressão	dbar	0 – 7000	0.2% FS	0.03%	50 ms
Temperatura	°C (IPTS68)	-3 a 50	± 0.003	0.0005	50 ms
Condutividade	mS.cm ⁻¹	0 – 64	± 0.003	0.001	50 ms
Nefelómetro	F.T.U.	0-25		200mV/FTU	
		0-125		40mV/FTU	
		0-500		10mV/FTU	

O CTD foi previamente calibrado no Laboratório de Calibração do SACLANTCEN (*La Spezia*, Itália). Face aos resultados obtidos na calibração, pode dizer-se que o CTD foi calibrado com uma precisão, na temperatura e condutividade, de 3 milésimas como valor médio, aceite pelas organizações internacionais.

Os perfis hidrológicos foram realizados com uma velocidade de descida do equipamento de 1 m/s. Os dados foram adquiridos e gravados em tempo real, com o apoio do Software REDAS (REmote DATA Software). Este software corre em ambiente *Windows* e permite visualizar graficamente em tempo real os perfis adquiridos pelo equipamento, bem como visualizar e imprimir os dados adquiridos. Possibilita o manuseamento dos parâmetros da aquisição e converte os ficheiros binários recebidos do CTD em unidades físicas (ficheiros ASCII).

O registo da variação do posicionamento do navio foi efectuado em coordenadas WGS-84, através de dados obtidos pelo equipamento GPS de bordo.

3.1.1.2 Estações Meteorológicas

As condições meteorológicas – vento e pressão atmosférica – foram monitorizadas em permanência em ambas as campanhas, em duas estações automáticas costeiras (AWS2700 Aanderaa) (Tabela II) instaladas, respectivamente, na ETAR de Viana do Castelo 41° 42' 28.679" N - 008° 51' 29.504" W; Cota: 6.8m; Altura dos sensores: 10 m) e junto à Praia d'El Rei, em Peniche – Ferrel (39° 23' 16.5" N - 009° 17' 29.52" W; Cota: 7.2 m; Altura dos sensores: 10 m).

Tabela II. Características dos sensores de vento e pressão das estações automáticas do Instituto Hidrográfico.

Sensor	Unidades	Alcance	Precisão	Resolução
Pressão (2810)	hPa	920 a 1080	0.2	0.2
Direcção do vento (3590)	°	0 a 360	± 5	- 0.3
Velocidade do vento (2740)	m/s	até 79	± 2%	- 0.3

3.1.1.3 Bóia Ondógrafo

Os dados de agitação marítima foram adquiridos pela bóia ondógrafo de Cabo Sillero dos “Puertos del Estado”, fundeada na posição 42° 7.2' N – 009° 24.0' W, sobre a batimétrica dos 323 m (Figura 8).

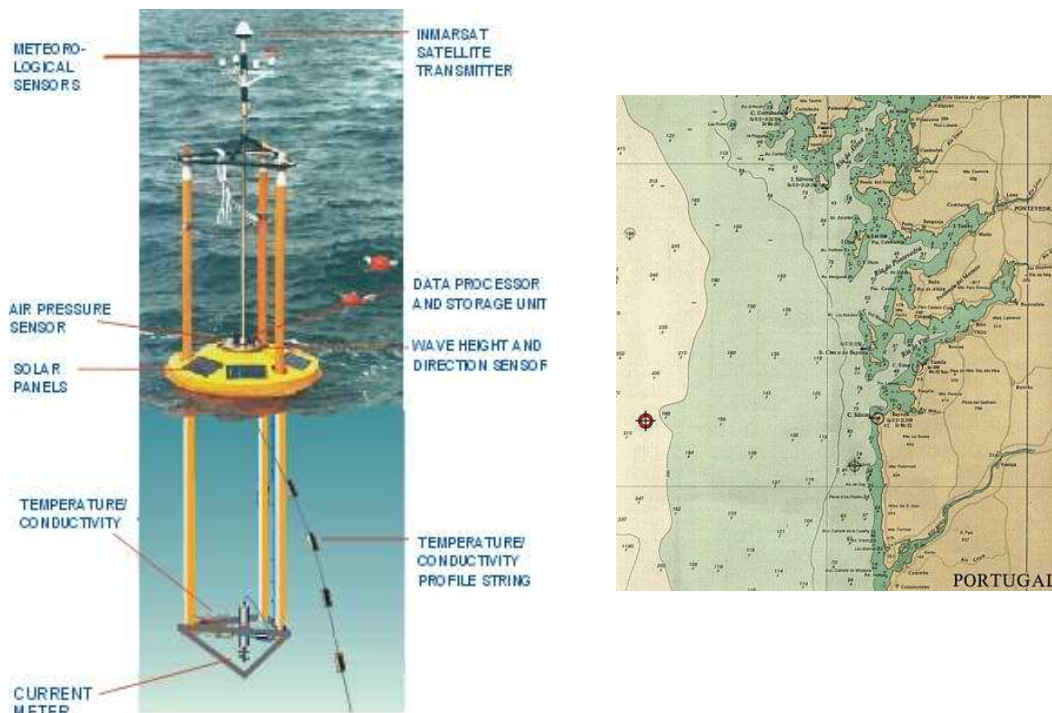


Figura 8. Esquema da bóia ondógrafo *Seawatch* de Cabo Sillero (esquerda) e a sua posição de fundeamento (direita) (Fonte: Puertos del Estado).

A bóia *Seawatch* (Figura 8) é uma plataforma flutuante capaz de alojar variados sensores, que têm como objectivo medir parâmetros atmosféricos e oceanográficos. As comunicações com a bóia são feitas através de satélite. A alimentação fica a cargo de painéis solares que, combinados com baterias, dotam a bóia de suficiente autonomia. A bóia está equipada com sensores que permitem obter a inclinação da superfície livre do mar. Os dados transmitidos pela bóia, e recebidos pelo receptor, correspondem aos valores digitalizados do deslocamento vertical da superfície (elevação), aos senos dos ângulos entre o plano horizontal e os eixos coordenados da bóia (eixos de “pitch and roll”) e às componentes espaciais do campo magnético terrestre. A partir destes dados são calculados os valores dos declives da superfície livre segundo os eixos N-S e E-W, o que permite obter a direcção da ondulação.

Associado ao receptor da estação ondógrafo está um computador que controla a gravação e efectua cálculos em tempo real. Os parâmetros utilizados para este estudo são a “Altura significativa”, “Período de Pico”, “Direcção da ondulação” e “Direcção de Pico”.

3.1.1.4 Perfilador de Corrente (ADCP)

Fundeou-se instrumentação correntométrica ao largo da zona da Apúlia sobre uma profundidade média de 30 m. A instrumentação utilizada consiste num perfilador de corrente acústico de efeito de Doppler (Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP) RDI de 600 kHz com modo de ondas (Figura 9).

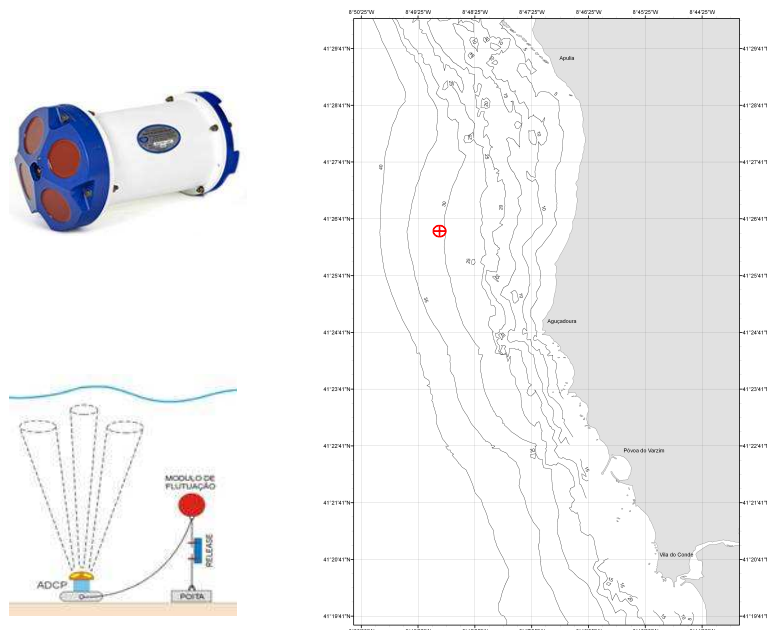


Figura 9. Localização do perfilador de corrente (direita), aspecto exterior do ADCP (cima) e esquema do fundeamento do ADCP (baixo).

Os perfiladores acústicos são equipamentos que permitem obter um perfil da corrente ao longo da coluna de água. Estes funcionam partindo do pressuposto que existem partículas em suspensão (sedimentos e plâncton) e que estas se deslocam em harmonia com as massas de água, tirando partido do efeito Doppler. O ADCP possui quatro transdutores com inclinação de 20°, relativa à horizontal (Figura 9), que emitem e recebem o sinal acústico, e um sensor de pressão (Tabela III). Possui ainda a capacidade de medição da agitação marítima (ondulação). Os dados são armazenados numa unidade de memória e extraídos posteriormente.

Tabela III. Características dos sensores do ADCP RDI 600 kHz.

Sensor	Unidades	Alcance	Precisão	Resolução
Bússola	°		± 0.5	0.01
Inclinómetro	°		± 0.5	0.01
Intensidade de eco	dB	80	± 1.5	Dependendo do tamanho da célula de profundidade
Velocidade	m/s	±5 - ±20	± 0.3%	0.001

3.1.1.5 Marégrafo

O equipamento utilizado para medir alturas de água foi um marégrafo de flutuador e poço tranquilizador, com registador analógico e digital *Thales* da *A.OTT* (Figura 10). Este tipo de marégrafos possui um sistema magnético, que converte os valores lidos pelo flutuador em sinal digital. Esses valores medidos são posteriormente armazenados num *logger* interno. Tem uma memória de armazenamento de dados que pode ir até 128kB, que

posteriormente são recolhidos localmente usando o software *Hydras3*, fornecido pelo fabricante, ou remotamente através de rede móvel GSM.



Figura 10. Marégrafo Thales instalado em Viana do Castelo.

3.2. Processamento de dados de CTD

A metodologia de processamento de dados adoptada neste trabalho foi desenvolvida por Silva *et al.* (1990) e é actualmente utilizada no Instituto Hidrográfico. Os dados são editados em dois passos, primeiro com janelas de diferenças de 1ª ordem para remoção de erros grosseiros, e depois com regressões lineares para substituição de valores desviados de mais de dois desvios-padrão relativamente às médias de conjuntos de 11 pontos. A série de valores de pressão é de seguida alisada com um filtro “passa-baixas”. As séries de temperatura e condutividade são ajustadas das diferenças de tempos de resposta dos respectivos sensores por aplicação de um filtro recursivo com pesos exponenciais dependentes da velocidade de descida, sendo eliminados os troços correspondentes a ascensões do equipamento.

Apesar do fabricante do CTD referir os tempos de resposta dos sensores indicados na Tabela I, os sensores de temperatura, pressão e condutividade têm tempos de resposta diferentes, sendo o primeiro, em regra, muito mais lento que os outros dois. Não sendo compensada a diferença de tempos de resposta (em particular entre os sensores de temperatura e condutividade), originar-se-ão grandes desvios da salinidade calculada (com as correspondentes inversões de densidade) sempre que forem observadas variações rápidas da temperatura – um fenómeno conhecido como *spiking* da salinidade (Silva *et al.*, 1990). Tal problema obriga ao cálculo do tempo de resposta do sensor de temperatura.

Este cálculo realiza-se através do teste de vários tempos de resposta (entre os 50 ms e os 500 ms). Rossa (2007) verificou que o efeito do ruído e do *spiking* era mínimo entre os 300 e os 400 ms. Procedeu à comparação dos

tempos de resposta entre os 300 ms e 400 ms para o domínio seleccionado e adoptou os 360 ms como tempo de resposta do sensor de temperatura para o processamento de dados do equipamento utilizado.

O cálculo da temperatura potencial é feito recorrendo aos algoritmos de Fofonoff (1977) e Bryden (1973) (ANON., 1983). As diversas formas de representação da massa específica são calculadas através da Equação de Estado da Água do Mar de 1980 (Millero, *et al.*, 1980; Millero e Poisson, 1981; ANON., 1983). Para calcular a salinidade, aplica-se a **Escala de Salinidade Prática de 1978** e calculam-se médias para intervalos de 1 dbar antes de se proceder ao arquivo de dados.

Estacao 156		Sonda 135 m		Press max da observacao 131.0 dbar												
Cruzeiro: NICC 2006-02				Plataforma: Andromeda												
Posicao geografica		Lat 42 22.432 N	WGS84	X: 488613.												
	Lon 9 8.299 W	WGS84		Y: 4691296.												
Data 03-07-2006		Hora TMG 17:26														
Interpolacao feita		depois de validacao a uma velocidade minima de 0.25 m/s e de compactacao a intervalos de 1.00 dbar														
* - valor invalido																
Pressao dbar	Temp °C	Theta °C	Salin	gam-T kg/m³	gam-Th kg/m³	gam-STP kg/m³	frq-BV cph	Anom.Geop m²/s²	Vel.som m/s	Vort.pot. E-11/(ms)	Prof m	Cond mS/cm	Turb FTU	OD %Sat	OD ml/l	OD µM/kg
2.0	12.741	12.740	35.794	27.0611	27.0612	27.0701	-----	-0.0198	1500.3	-----	2.0	41.537	1.86	88.8*	5.27*	229.0*
3.0	12.738	12.737	35.794	27.0617	27.0618	27.0751	-----	-0.0297	1500.3	-----	3.0	41.534	1.11	89.2*	5.29*	229.9*
4.0	12.731	12.731	35.794	27.0631	27.0632	27.0809	-----	-0.0396	1500.3	-----	4.0	41.528	0.87	89.3*	5.29*	230.2*
5.0	12.718	12.717	35.795	27.0666	27.0667	27.0889	-----	-0.0495	1500.3	-----	5.0	41.517	0.80	89.1*	5.28*	229.8*
6.0	12.696	12.695	35.800	27.0746	27.0748	27.1014	-----	-0.0593	1500.2	-----	6.0	41.500	0.70	88.9*	5.28*	229.5*
7.0	12.675	12.674	35.808	27.0849	27.0851	27.1162	3.57	-0.0690	1500.2	-57.6	6.9	41.489	0.62	88.8*	5.27*	229.3*
8.0	12.666	12.665	35.814	27.0914	27.0916	27.1272	3.48	-0.0787	1500.2	-54.8	7.9	41.486	0.72	88.7*	5.27*	229.0*
9.0	12.674	12.672	35.812	27.0884	27.0887	27.1287	3.26	-0.0884	1500.2	-48.2	8.9	41.492	1.13	88.7*	5.27*	229.1*
10.0	12.674	12.672	35.812	27.0881	27.0884	27.1328	2.93	-0.0980	1500.2	-38.9	9.9	41.492	0.95	88.6*	5.26*	228.8*

Figura 11. Aspecto geral do ficheiro final de grandezas derivadas.

CAPÍTULO IV: Resultados e Discussão

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos das observações efectuadas durante as campanhas de 2006 e 2007. Analisam-se e discutem-se os valores de caudais fluviais observados, assim como os dados de vento, de pressão atmosférica, da agitação marítima, da maré e da correntometria. A hidrologia é discutida e comentada tendo em conta toda a conjuntura ambiental no decorrer dos levantamentos.

4.1 Campanha de 2006

4.1.1 Caudais das Principais Fontes de Água Doce

Os caudais dos rios Douro e Minho foram monitorizados, respectivamente, na Barragem de Crestuma-Lever (41.073 N – 8.487 W) e na estação hidrométrica automática (sensor de nível) de Foz do Mouro (42.077 N – 8.391 W) da Rede Hidrométrica Nacional (Figura 5 e 6), e disponibilizados através do Instituto da Água.

Durante o período das observações, o caudal médio foi 20% mais elevado no Minho (554 m³.s⁻¹) que no Douro (464 m³.s⁻¹). Os caudais instantâneos apresentaram, no entanto, extremos 44% mais elevados no Douro (1343 m³.s⁻¹) que no Minho (931 m³.s⁻¹). Finalmente, o caudal mínimo no Minho foi de 73 m³.s⁻¹, ao passo que no Douro foram recorrentes as situações de caudal instantâneo nulo (Figura 12, Tabela IV e Tabela V). O rio Minho foi o principal fornecedor de água doce ao oceano costeiro durante o período das observações, quer a nível de quantidade como de regularidade.

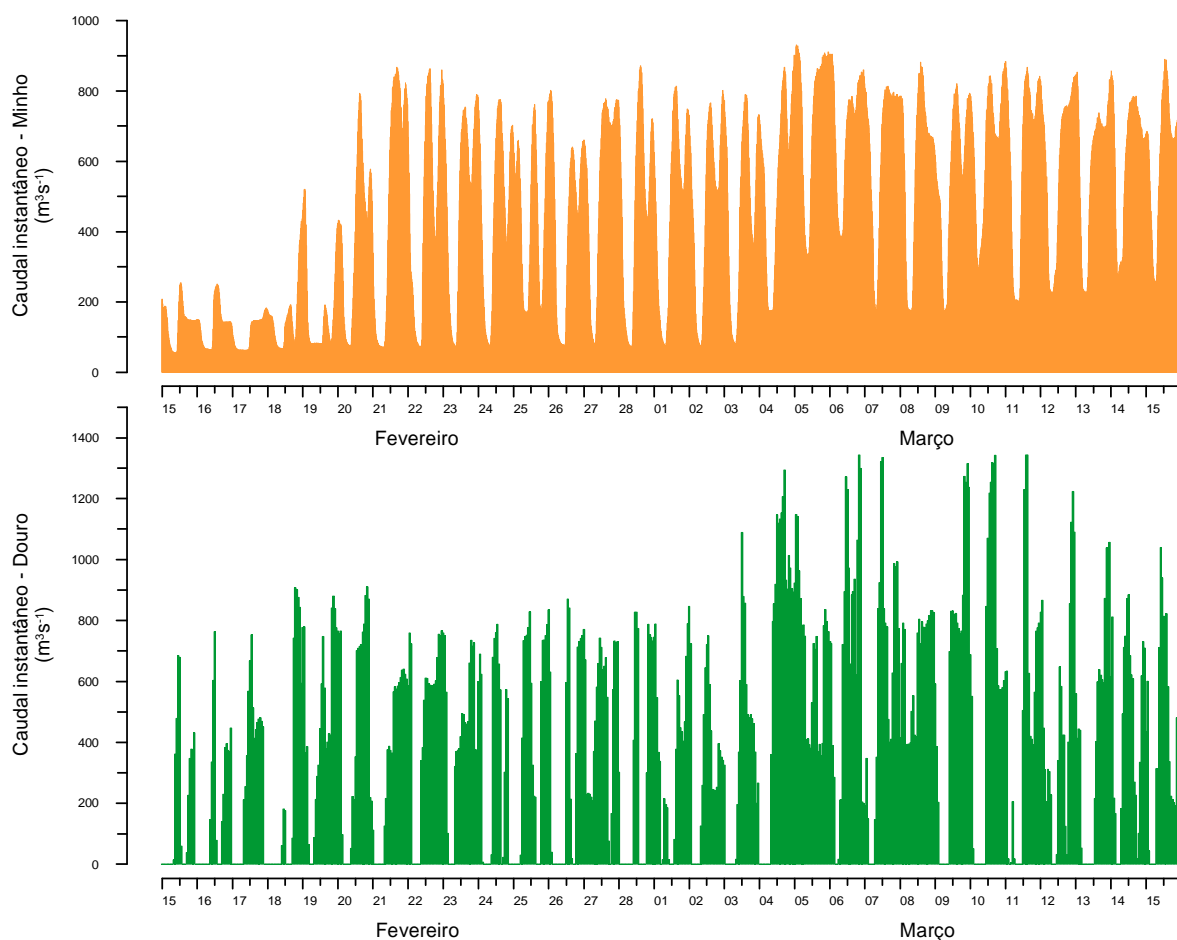


Figura 12. Caudais instantâneos dos rios Douro – lançado na Barragem de Crestuma-Lever (média 464 m³.s⁻¹) – e Minho – estação hidrométrica de Foz do Mouro (média 554 m³.s⁻¹) – no período 15 Fevereiro a 15 Março 2006. (fonte: Instituto da Água).

Tabela IV. Algumas estatísticas para os caudais instantâneos (m^3s^{-1}) lançados no estuário rio do Douro a partir da Barragem de Crestuma-Lever em períodos seleccionados. (Fonte: Instituto da Água)

Período	1º Quartil	Média	Mediana
15 Fev 00:00 – 19 Fev 23:00	0	257	144
20 Fev 00:00 – 22 Fev 23:00	39	413	571
23 Fev 00:00 – 03 Mar 23:00	0	355	367
04 Mar 08:00 – 06 Mar 03:00	500	773	791
06 Mar 06:00 – 07 Mar 02:00	211	672	720
07 Mar 07:00 – 09 Mar 02:00	418	677	772
09 Mar 03:00 – 15 Mar 23:00	0	481	445

Tabela V. Algumas estatísticas para os caudais instantâneos (m^3s^{-1}) no rio Minho na estação hidrométrica de Foz do Mouro em períodos seleccionados. (Fonte: Instituto da Água)

Período	1º Quartil	Média	Mediana
15 Fev 00:00 – 19 Fev 23: 45	81	144	143
20 Fev 00:00 – 22 Fev 23: 45	138	447	442
23 Fev 00:00 – 03 Mar 23:45	206	471	530
04 Mar 08:00 – 06 Mar 07:45	501	684	777
06 Mar 08:00 – 07 Mar 07:45	551	656	741
07 Mar 08:00 – 09 Mar 07:45	423	590	673
09 Mar 08:00 – 15 Mar 23:45	460	620	708

4.1.2 Condições Meteorológicas

O levantamento geral iniciou-se a 24 de Fevereiro (Secção 1) com forçamento atmosférico fraco e variável, após um período de vento de NW (Figura 13). Com a aproximação e passagem de uma depressão, particularmente evidente nos registos da estação de Viana do Castelo (Figura 13, vermelho), intensificou-se o vento do quadrante W, a que se seguiu, entre 27 de Fevereiro e 2 de Março, novo período de vento fraco e variável (Secções 2 a 7).

Entre 3 e 5 de Março deu-se a passagem de um novo sistema depressionário, quando o vento, inicialmente de SW com $8\text{--}12 \text{ ms}^{-1}$, rodou para NW, intensificando-se até 16 ms^{-1} . Nesse período houve um reforço da componente u (E-W) do vento, soprando em direcção a terra. Durante a observação das Secções 8 e 9, a 6 de Março, o vento decresceu até abaixo dos 5 ms^{-1} , soprando do quadrante Sul. As restantes secções do levantamento geral (Secções 10-13) foram realizadas, a 7 de Março, com o vento continuando a enfraquecer e com tendência a rodar para os quadrantes N. Previamente ao levantamento detalhado, o vento manteve-se em NW-WNW, soprando com intensidades $5\text{--}6 \text{ ms}^{-1}$, enfraquecendo de novo durante a realização das Secções 14 a 21 (Figura 13).

De 7 a 14 de Março, o vento manteve-se fraco a moderado, soprando maioritariamente do quadrante Norte. A pressão começou a decrescer no dia 12 de Março, continuando a tendência até ao fim da série temporal. Observa-se uma inversão do sentido da componente v do vento, no dia 9 de Março, particularmente mais marcada na estação de Viana do Castelo, mas mais moderada que a anteriormente descrita para dia 4 de Março.

Os registos de vento e pressão não diferem muito entre ambas as estações. Apenas nos períodos entre 21-23 e 24-27 de Fevereiro, a velocidade do vento em Ferrel (Figura 13, azul) é superior e aumenta enquanto em Viana do Castelo decresce. No início do dia 5 de Março, quando o vento decai bruscamente em Viana do Castelo, em Ferrel diminui com maior suavidade.

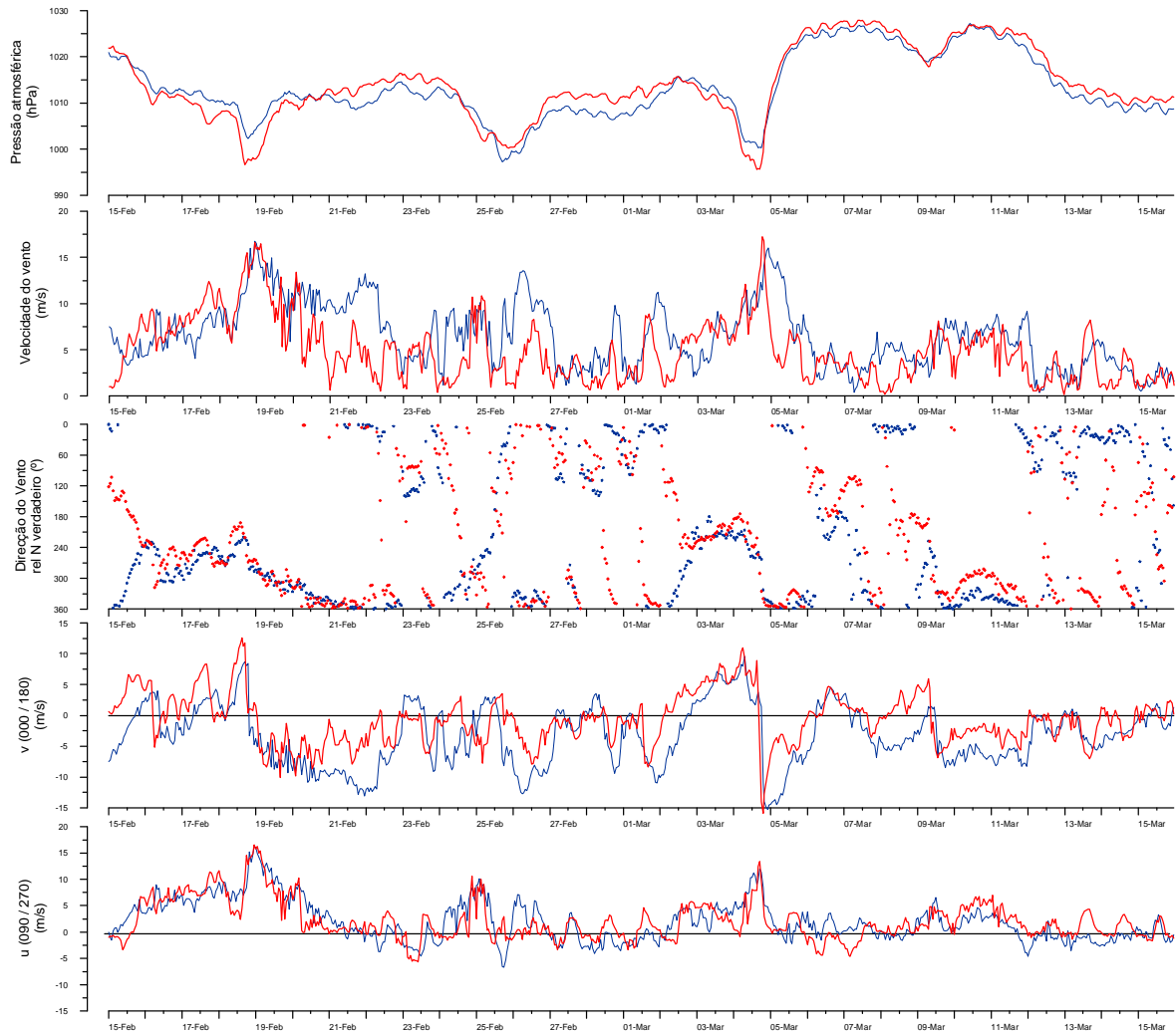


Figura 13. Observações meteorológicas realizadas nas estações de Viana de Castelo e Ferrel durante o período 15 Fev – 15 Mar 2006 (A **vermelho** estão representados os dados de Viana do Castelo, e a **azul** os de Ferrel).

4.1.3 Maré

Os seguintes registos de alturas de água (Figura 14) foram obtidos pelo marégrafo de Viana do Castelo (41° 41.17' N – 8° 50.35' W – Datum Europeu ED 50).

Entre 15 de Fevereiro e 15 de Março decorreram dois períodos de maré morta, correspondendo o primeiro à fase de Quarto Minguante da Lua (21 Fev 07:17 horas) e o segundo à fase de Quarto Crescente (6 Mar 20:16 horas). Apenas um período de maré viva completo foi observado neste conjunto de dados de altura de água, tendo precedido à fase de Lua Nova (28 Fev 00:31 horas). A maior amplitude de maré (388 cm) (Figura 14) associada a esta fase foi registada dia 1 Março entre as 04:00 e as 10:00 horas, enquanto a menor amplitude (77 cm) (Figura 14) correspondente à maré morta foi observada dia 8 de Março entre as 10:00 e as 16:00 horas.

O levantamento hidrológico iniciou-se a 24 de Fevereiro, em situação de maré morta com a observação de toda a secção 1 entre as 10:00 e as 20:36 horas. Este intervalo de tempo englobou grande parte de um ciclo de maré, com uma amplitude de 144 cm, desenvolvendo-se desde o final da enchente até início de nova enchente sequencial. As secções 2 a 6 foram observadas entre 27 de Fevereiro às 12:39 horas e 28 de Fevereiro às 19:50 horas, em situação de maré viva (Figura 14). Entre as 21:00 horas de dia 27 e as 03:00 horas de dia 28 de Fevereiro, decorreu, aproximadamente, um ciclo e meio de maré, com uma amplitude máxima de 339 cm. A corrente de maré deverá assim ter sido mais forte no decorrer das observações destas fiadas do que na secção 1 e restantes secções do levantamento geral. A secção 7 foi realizada isoladamente entre as 06:26 e as 11:03 de dia 3 de Março, abrangendo apenas a vazante incompleta do período de marés vivas. As restantes secções do

levantamento geral (secções 8 a 13) decorreram em período de marés mortas, englobando um ciclo de maré completo com amplitude de 141 cm (Figura 14).

As secções 14 a 21 foram observadas entre os dias 12 e 13 de Março, em situação transitória entre maré morta e maré viva, englobando dois ciclos de maré. A amplitude média de maré para este período é de 225 cm. (Figura 14).

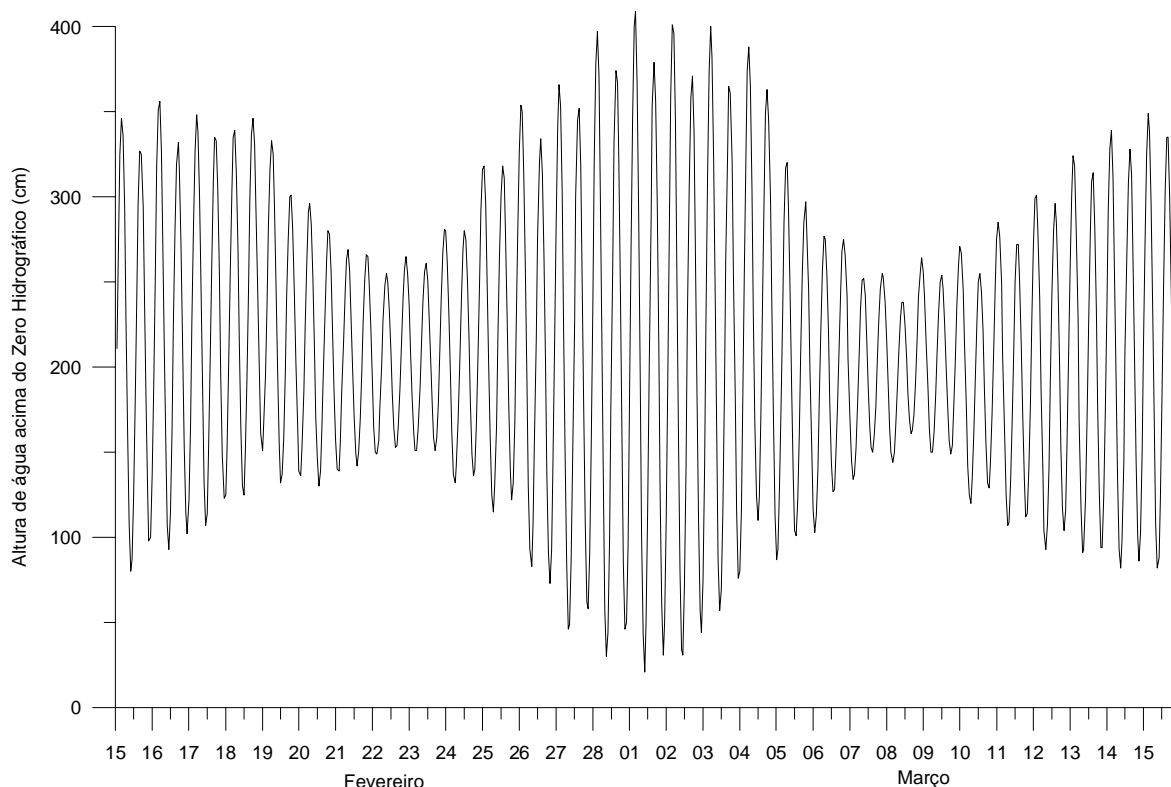


Figura 14. Alturas de água medidas no marégrafo de Viana do Castelo no período 15 Fevereiro a 15 Março 2006.

4.1.4 Agitação Marítima

Apesar de não ser possível relacionar quantitativamente a agitação marítima registada pela bóia no Cabo *Sillero* e pelo ADCP fundeado na zona da Apúlia, é possível inferir qualitativamente as alterações das condições de agitação nas zonas Norte e Sul da área em estudo.

Observando os dados da agitação marítima medidos na bóia ondógrafo do Cabo *Sillero* (Figura 15), verifica-se que entre os dias 16 e 21 de Fevereiro ocorreram alturas significativas de onda da ordem dos 7 m, com períodos que rondam 10-11 s. Após este intervalo, a ondulação acalmou, oscilando em torno dos 2 m de altura significativa. No entanto, no dia 24 de Fevereiro, o período de pico atinge máximos de valores superiores a 8 s, para diminuir de seguida para valores próximos de 3 s. A partir de dia 3 de Março, observa-se um aumento da altura significativa e do período até valores de 6 m e 8 s, respectivamente. No dia 6, a altura das ondas volta a decrescer até 2 m e o período atinge valores que rondam os 5 s, para voltar a aumentar e permanecer oscilando entre os 10 e os 7 s, até ao fim da série temporal representada. Em termos de altura significativa, a partir de dia 9, os valores crescem de 2 m para 5 m, voltando a decrescer dia 12 para os mesmos 2 a 3 m. As observações hidrológicas concentram-se nos dias em que a agitação marítima é menor, não havendo assim registos hidrológicos em alturas de forte agitação, por impossibilidade técnica. A direcção das ondas e de pico mantém-se no 4º quadrante ao longo de toda a série temporal (Figura 15).

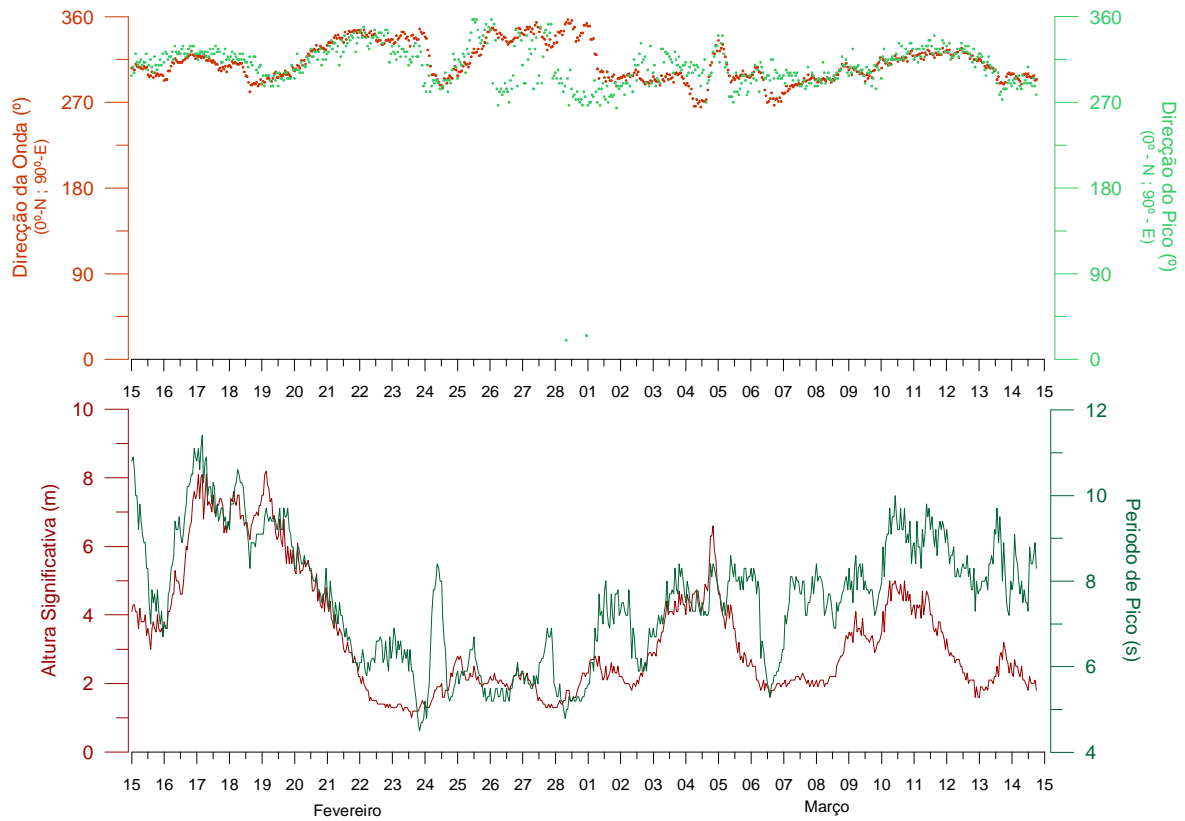


Figura 15. Altura significativa, Período de Pico, Direcção da Onda e Direcção do Pico medidos na bóia ondógrafo do Cabo *Sillero* no período 15 Fevereiro a 15 Março 2006 (fonte: Puertos del Estado).

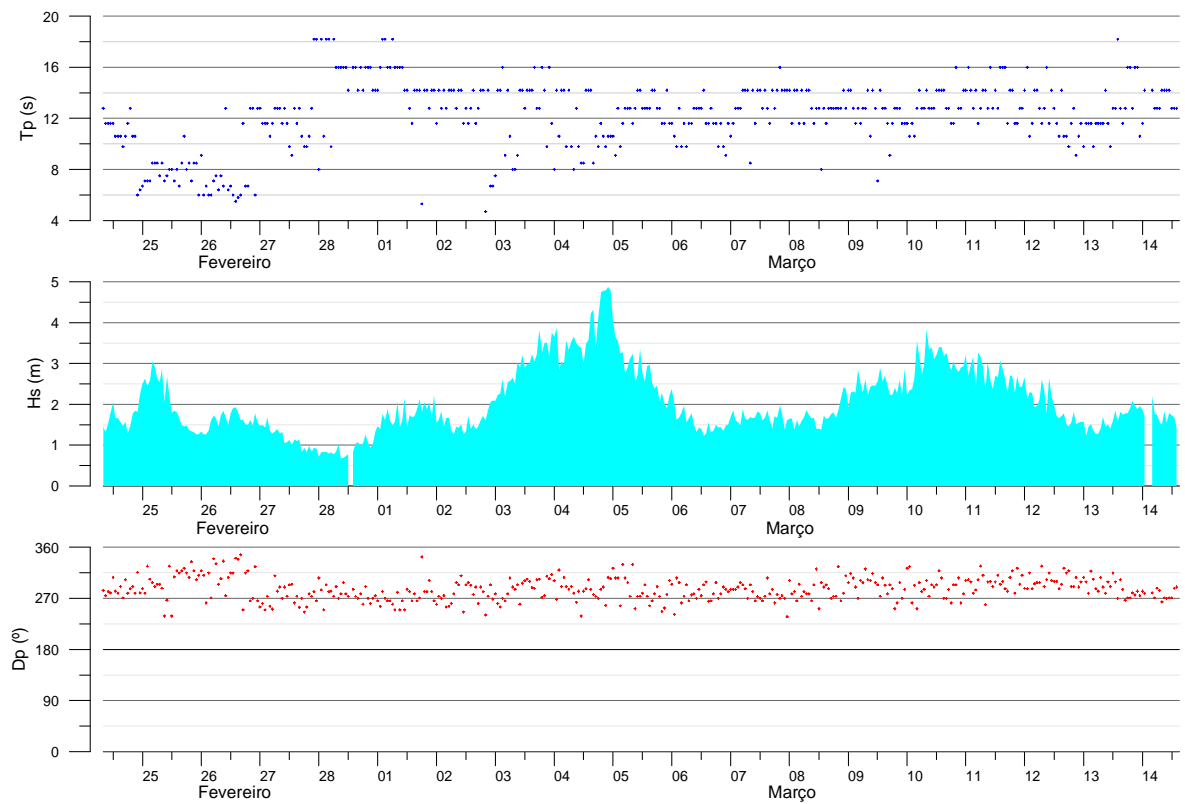


Figura 16. Período de pico (T_p), altura significativa (H_s) e direcção de pico (D_p) da agitação marítima no ADCP fundeado na região da Apúlia.

Relativamente à agitação marítima medida pelo ADCP fundeado na Apúlia (Figura 16), esta é compatível com a descrita para a bóia do cabo *Sillero*, não em termos absolutos, mas em termos de variações das grandezas. A altura significativa apresenta na generalidade valores mais baixos, devido à localização mais próxima da costa do ADCP, mas cresce e decresce nos mesmos períodos representados na Figura 15. A direcção de pico também se distribui no 4º quadrante ao longo da série temporal, predominando, no entanto, os valores entre os 270º e os 300º. Também as variações do período de pico se ajustam às descritas anteriormente para a bóia do cabo *Sillero*, apresentando, no entanto, valores absolutos mais elevados. Os períodos de maior agitação coincidem com os períodos de valores elevados de vento (Figura 13, 15 e 16).

4.1.5 Hidrologia

Entre 24 de Fevereiro e 7 de Março de 2006, foi realizado o levantamento da área da plataforma continental (até cerca da batimétrica de 150 m) entre Aveiro e o cabo Finisterra com 13 secções zonais separadas de cerca de 20 km, num total de 156 estações hidrológicas (Figura 5). Foi dada especial atenção à região interna da plataforma, onde se esperava ter o sinal mais forte da corrente induzida pelo escoamento fluvial. O carácter sinóptico do levantamento foi prejudicado pelos agravamentos do estado do mar a 25 de Fevereiro e, em particular, entre 3 e 5 de Março (Figura 14 e 15). Este último agravamento teve como consequência uma separação temporal de 4 dias entre as Secções 7 e 8. A área mais directamente influenciada pelos escoamentos do Douro e Minho, foi amostrada através de 8 secções zonais separadas de cerca de 10 km (Figura 5), num total de 96 estações.

As interrupções ocorridas no levantamento e a mudança no sentido da cobertura ocorrida a 7 de Março deveriam impor descontinuidades no traçado das isolinhas dos campos hidrológicos observados. Contudo, abaixo dos 20 dbar (Figura 18 e Figura 19), os campos parecem mostrar uma continuidade notável, mesmo nas transições envolvendo a Secção 7, iniciada 36 horas depois do fim da Secção 6 e terminada 99 horas antes do início da Secção 8. As aparentes singularidades identificam-se nos primeiros 10 dbar (Figura 18), com particular evidência para a transição entre as Secções 7 e 8, como seria de esperar dada a maior separação temporal. A opção foi assim a de não interromper a continuidade dos campos, assumindo que os gradientes representados poderão não estar muito exagerados.

Nas secções horizontais correspondentes à área entre Aveiro e Finisterra, observada entre 24 de Fevereiro e 7 de Março de 2006, há boa concordância entre os campos observados em todos os níveis de pressão representados (Figura 18 e Figura 19). As temperaturas da água mais baixas correspondem aos valores mais baixos da densidade e da salinidade. Esta é uma situação característica da interacção de águas oceânicas e continentais durante o Inverno (Peliz *et al.*, 2002). A influência fluvial é observável apenas numa camada superficial até ao nível de 20 dbar, abaixo do qual se regista grande homogeneidade. Tal pode ser observável através das representações da variação da turbidez nos vários níveis. Identifica-se uma zona costeira de baixos valores de temperatura e salinidade, a que correspondem valores elevados de turbidez, constituída por três núcleos, podendo ser associados aos três principais rios: Douro, Minho e Lima. Pode identificar-se a influência da água oceânica com temperaturas superiores a 13°C, salinidades acima dos 35.8 e valores de turbidez muito reduzidos, da ordem de 1 FTU. Essa influência corresponde a meandros da Corrente da Vertente sobre a plataforma externa e média, sendo possível dizer que um desses meandros terá penetrado para Norte entre as Secções 3 e 5 (Figura 18 e Figura 19) até às batimétricas de 40-60 m.

Secções 1 a 7, 24 Fevereiro – 2 Março

O sinal do rio Douro é o mais fraco dos três principais rios (Figura 18), devido à influência do referido meandro da Corrente da Vertente, sendo apesar de tudo evidente sobre a maior parte da plataforma a sul da embocadura (Figura 18). Nas Secções 5 a 7, entre os rios Cávado e Minho, os sinais do escoamento fluvial aparecem a sul das embocaduras e estendem-se por toda a plataforma (Figura 18). Os valores elevados da turbidez junto à superfície remetem para uma influência fluvial na zona. No entanto, os valores máximos ocorreram próximo da costa e junto ao fundo, o que sugere que a dinâmica costeira poderá ter re-suspendido os sedimentos. Na Secção 1 (Figura 17) pode observar-se um gradiente horizontal de turbidez em toda a coluna de água, mais intenso junto à costa, onde se localizam valores máximos. A Secção 2 apresenta uma situação idêntica (Figura 17).

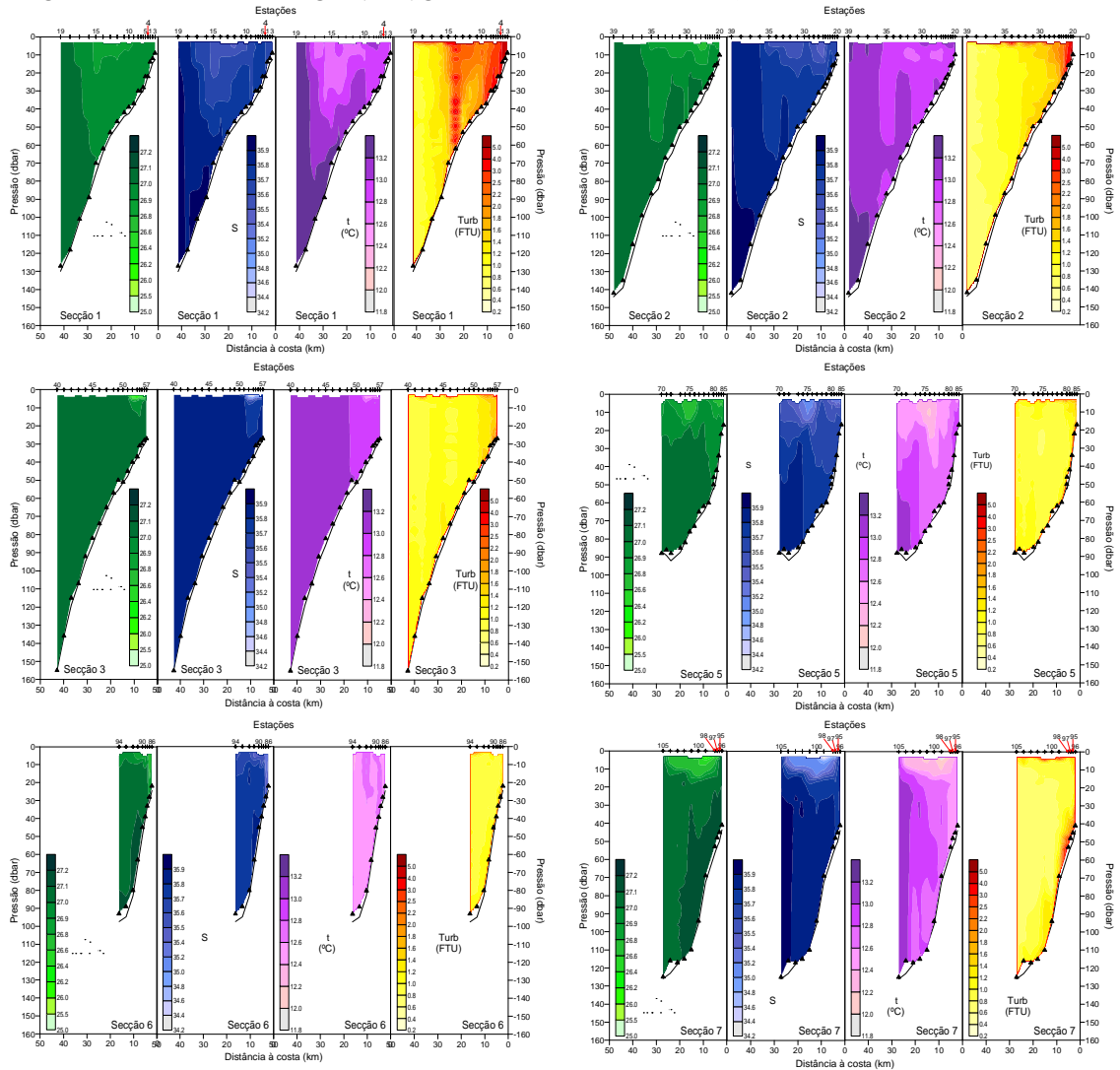
Até à data de realização da Secção 7, o vento soprou do quadrante norte (Figura 13), o que deverá ter determinado uma resposta superficial para o largo, com um jacto costeiro para sul. Esse transporte para o largo pode ser observável na Secção 7 (Figura 17), onde a presença de água doce é mais evidente, visto encontrar-se

mais próxima à embocadura do rio Minho. Assim, pode dizer-se que a hidrologia propõe que, até ao dia 2 de Março (Secções 1 a 7), terá ocorrido uma dispersão dos sinais do escoamento fluvial pela plataforma, em resultado do forçamento pelo vento norte.

Secções 8 a 13, 6 – 7 Março

A área a norte da foz do Minho foi observada após um período de baixa pressão com o vento a soprar do quadrante Sul durante cerca de dois dias e rodando para N há, pelo menos, 24 horas. Durante o período de interrupção da cobertura hidrológica, os caudais fluviais foram máximos (Tabela IV e V, Figura 12). Encontram-se baixos valores de salinidade junto à costa, assim como valores de turbidez mais elevados, podendo sugerir que se estabeleceu previamente uma corrente costeira que terá decaído em função do vento N (Figura 18 e Figura 19).

Figura 17. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, Secções 1, 2, 3, 5, 6 e 7 efectuadas a 24, 27, 28



Fevereiro e 2 Março 2006, respectivamente. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.

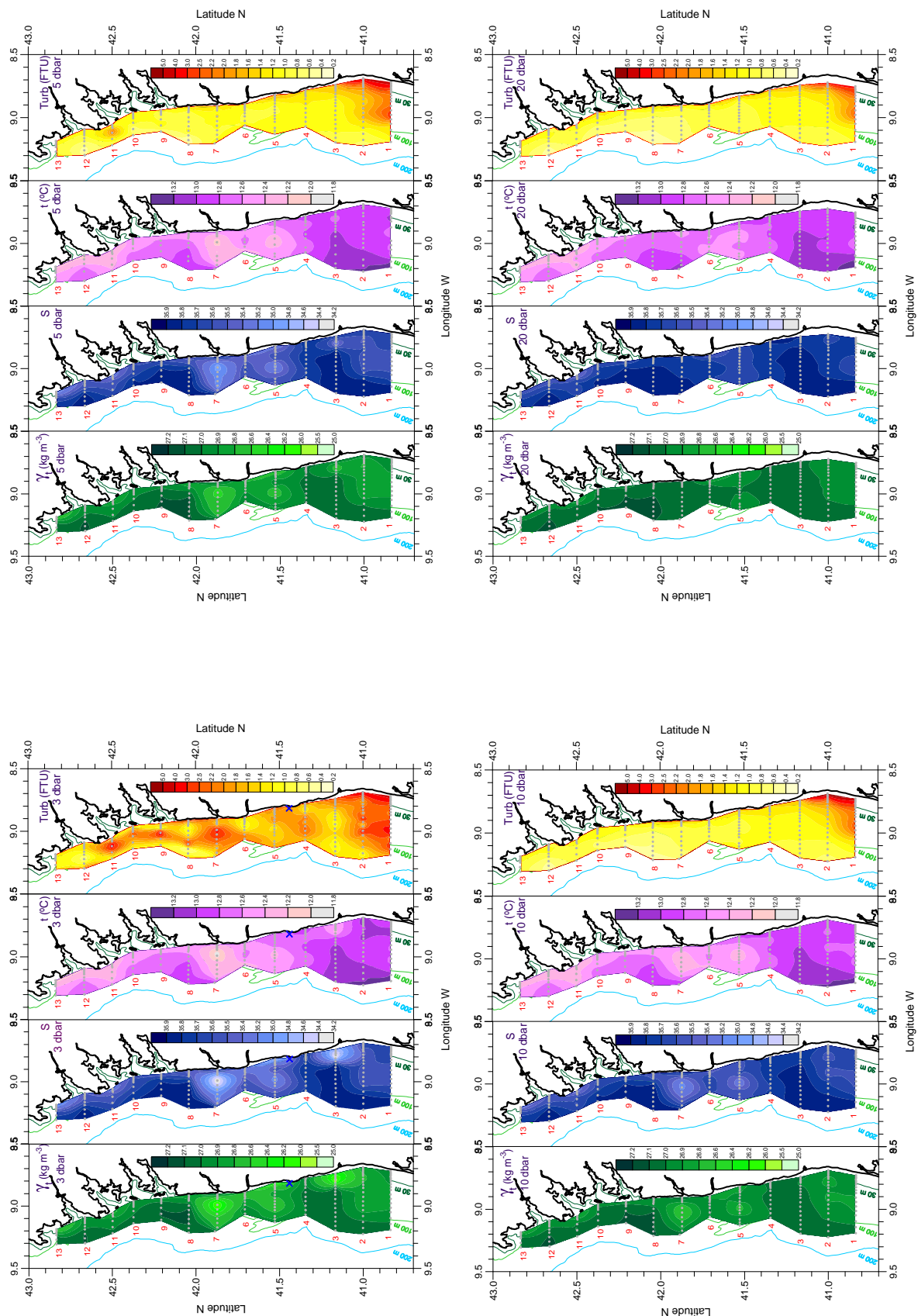


Figura 18. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, 24 Fevereiro – 7 Março 2006. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 3, 5, 10 e 20 dbar.

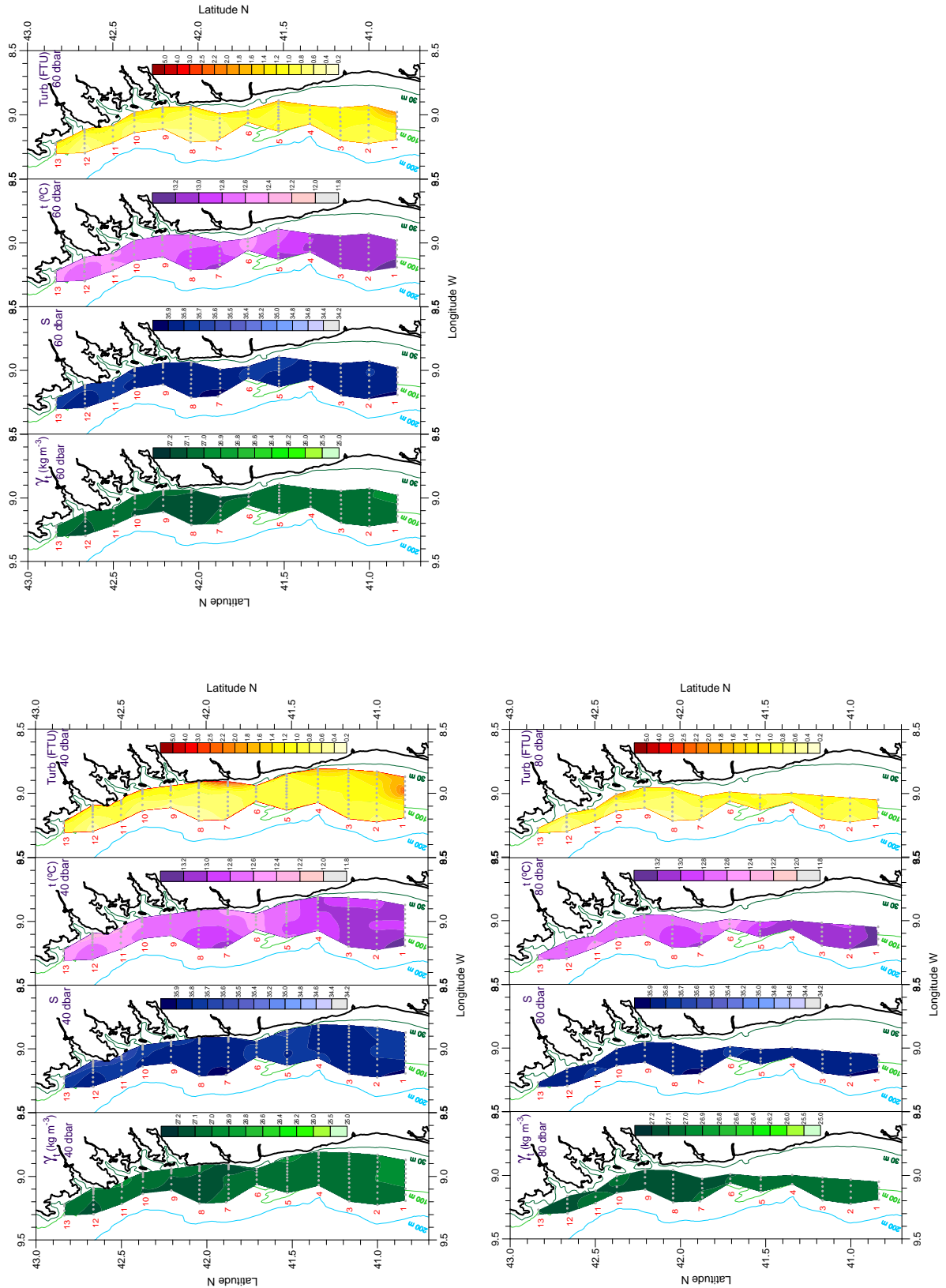


Figura 19. Levantamento hidrológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, 24 Fevereiro – 7 Março 2006. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 40, 60 e 80 dbar.

Secções 14 a 21, 12 – 13 Março

Durante o levantamento das secções 14 a 21, o vento apresentou-se fraco predominando de Norte, com caudais do rio Douro bastante reduzidos novamente e os do Minho voltando a aumentar para níveis idênticos aos dos dias 4 a 7 de Março (Tabela IV e Tabela V). Nas secções horizontais dos 3 e 5 dbar (Figura 21), observa-se uma zona de salinidades baixas, associados a valores elevados de turbidez. Deverá tratar-se de águas fluviais, certamente com uma importante contribuição do rio Minho. A partir dos 20 dbar passou a haver grande homogeneidade, observando-se apenas valores elevados de turbidez nas zonas mais próximas da costa e junto ao Beiral de Viana.

Analisando as secções verticais (Figura 20) observa-se a presença de bandas alternadas nas distribuições da turbidez, uma situação particularmente exuberante na Secção 19 (Figura 20), mas também identificável nas Secções 15, 16, 20 e 21 (Figura 20). As distribuições nas Secções 18 a 21 (Figura 20) permitem sugerir que a irregularidade batimétrica situada a cerca de 28 km da costa, correspondente ao Beiral de Viana, poderá desempenhar um papel na génese deste padrão.

Os autores do relatório do Projecto NICC remetem este padrão de distribuição, para uma situação de propagação de ondas internas (maré interna ou eventuais solitões). Trata-se de um fenómeno comum durante os meses de Verão, quando a estratificação térmica é máxima, não tendo ainda sido reportada durante o Inverno. É, no entanto, possível que o escoamento fluvial forneça ocasionalmente a estabilização necessária para originar uma interface suficientemente intensa que sustente essas oscilações. Os gradientes de salinidade e densidade identificados podem ser suficientes para sustentar a geração e a propagação de ondas internas. Porém, como a estabilização superficial da coluna de água é intermitente, dependendo do escoamento fluvial e do forçamento pelo vento, as condições de propagação dessas ondas também serão intermitentes. Talvez por essa razão não haja relato da sua ocorrência durante o Inverno.

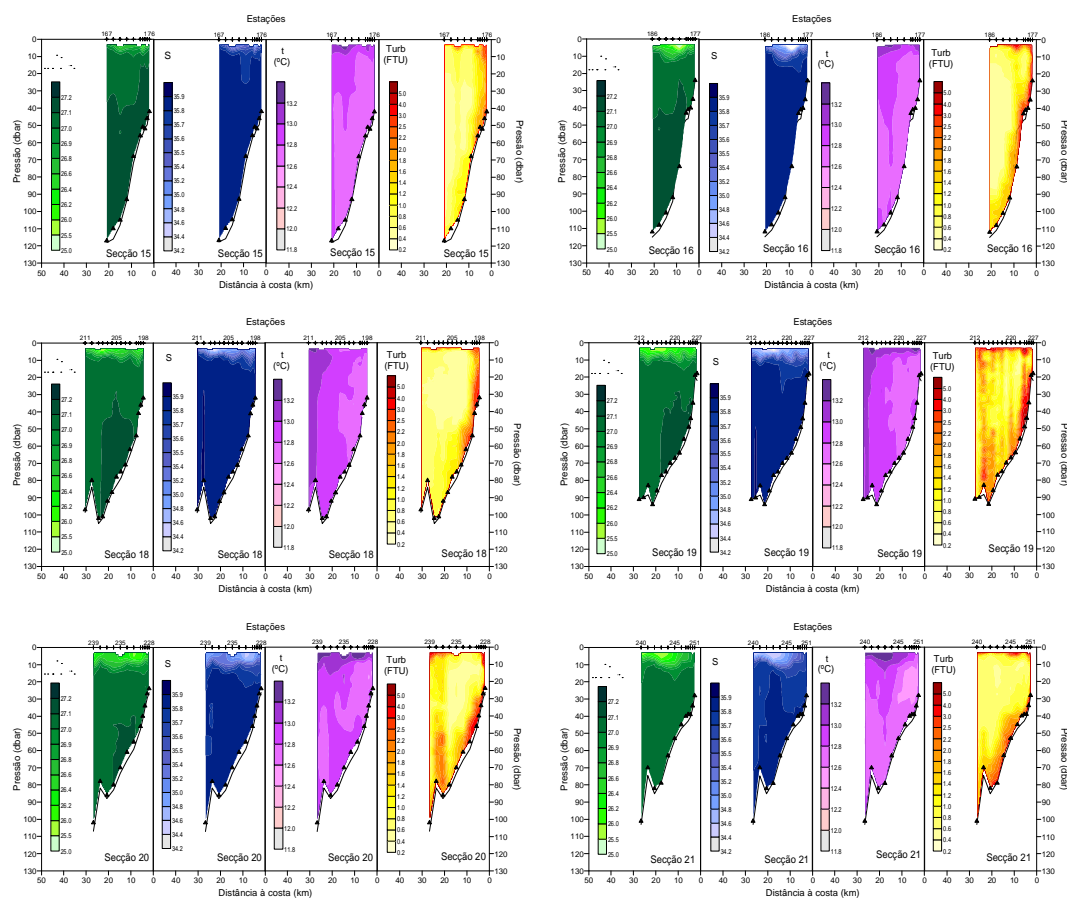


Figura 20. Levantamento hidrográfico (CTD) da área P. Varzim - A Guarda, Secções 15, 16, 18, 19, 20 e 21; 12 Março 2006. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.

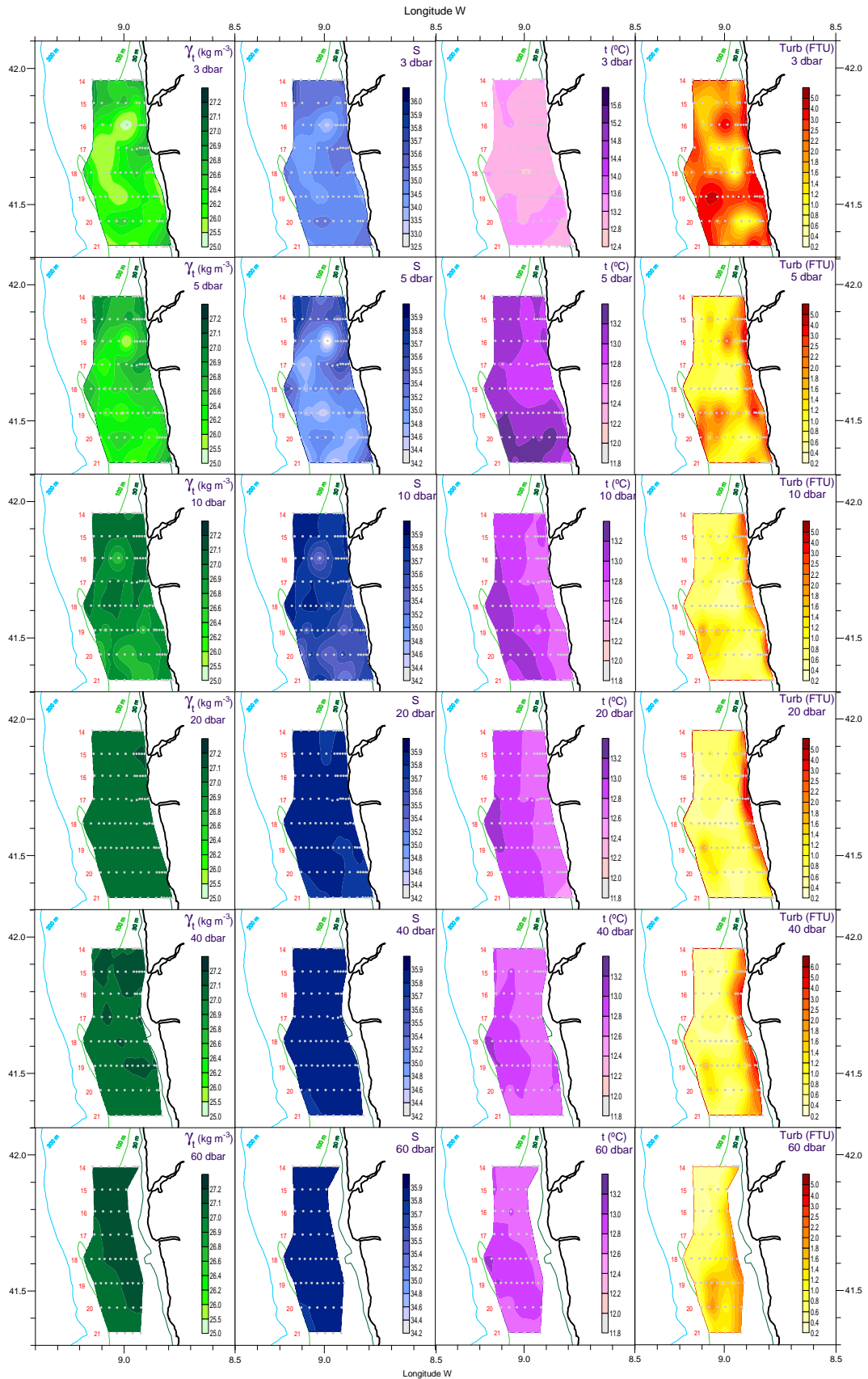


Figura 21. Levantamento hidrológico (CTD) da área P. Varzim – A Guarda, 12–13 Março 2006. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 3, 5, 10, 20, 40 e 60 dbar

4.1.6 Correntometria

Obteve-se uma série cronológica de perfis de corrente, durante cerca de 18 dias, através do ADCP fundeado na posição 41° 26' 27.7" N – 008° 49' 03.0" W, na batimétrica dos 31m.

Estas observações correntométricas realizadas na plataforma interna (Figura 22) revelaram uma corrente essencialmente polarizada segundo a direcção da costa. Orientou-se frequentemente para Sul, mas apresentou inversões para Norte, verificando-se valores máximos de cerca de 1 m s⁻¹ à superfície. É possível observar a acção da maré na componente transversal da corrente (E-W), cuja intensidade quase não ultrapassou os 10 cm s⁻¹. As oscilações mais significativas ocorreram provavelmente devido à acção do vento e do escoamento fluvial (Figura 22). O fluxo de corrente dominante foi para Sul, respondendo ao campo de vento, essencialmente de Norte. A passagem, entre 3 e 5 de Março, da depressão (Figura 13) representou a oscilação mais relevante do campo do vento durante o período das observações. Quando o vento rodou de Norte para Sul, a corrente acompanhou esta rotação, estabelecendo-se para N, durante cerca de 36 h, intensificando-se à superfície. Com a rotação do vento para N, após a passagem da depressão, a corrente rodou de novo para S, com um enfraquecimento durante a rotação, e nova intensificação em resposta ao aumento da velocidade do vento.

A 4 de Março o escoamento do Douro (Tabela IV e Figura 12) veio exercer um papel forçador adicional ao do vento S, reforçando, a partir da superfície, a corrente entretanto invertida para N (Figura 22). Após a passagem da depressão, o vento rodou de novo para N e o efeito do caudal do Douro deixou de influenciar as medições efectuadas no ADCP. A 7-8 de Março, na ausência de vento significativo de S (Figura 13), estabeleceu-se de novo uma corrente para N. Essa corrente, que permaneceu nos 5-6 m superficiais durante o dia seguinte, pode ter estado associada ao aumento do caudal do Douro no mesmo período (Tabela IV e Figura 12).

A partir de 10 de Março o vento tendeu a soprar fraco do quadrante N. A corrente medida pelo ADCP passou a ser para S, com valores, em geral, inferiores a 20 cm s⁻¹. Os resultados das observações hidrológicas realizadas até dia 13 de Março (Secções 14 a 17, Figura 21) sugerem a influência de uma corrente para S sobre a plataforma interna e média, tal como confirmam as observações de corrente (Figura 22). Admitindo que a corrente no ADCP é uma boa medida da corrente sobre a plataforma interna e média a norte do Douro, pode deduzir-se que a lente superficial, turbida e de baixa salinidade, observada nas Secções 14 a 17 terá resultado dos aumentos de caudal ocorridos após o dia 4 de Março (Tabela IV e Tabela V), uma vez que anteriormente a essa data os valores de caudal foram comparativamente baixos. A 13 de Março foi observado o último episódio de corrente pouco intensa, para N (Figura 22). Não teve correspondência com qualquer aumento do caudal do Douro (Figura 12), e ocorreu sempre abaixo dos 5 m de profundidade.

Os principais aumentos da intensidade da corrente (26-27 Fevereiro, 2 e 4-6 Março) estão associados a aumentos da intensidade de eco (Figura 22), uma grandeza que pode entender-se como representativa da turbidez. Contudo, a re-suspensão de sedimentos poderá ter sido accionada principalmente pela agitação marítima. Pode observar-se uma correspondência entre a imagem da intensidade de eco e da altura significativa da agitação marítima observada no ADCP e na bóia do cabo *Sillero* (Figura 22, Figura 16 e 15, respectivamente).

Desde o início do dia 3 de Março até quase ao fim do dia 4, a corrente apresenta sentido N, ultrapassando os 0.5 ms⁻¹ nos 10 m superficiais, chegando a atingir 1 ms⁻¹. Com a inversão no final do dia 4, a coluna de água tendeu a homogeneizar-se. A velocidade à superfície não ultrapassou 0.5 ms⁻¹ e o sinal da possível presença de matéria em suspensão desapareceu. Nestas condições, a propagação para N das contribuições fluviais foi mais forte do que o retorno para S deste sinal. A inversão da corrente deve ter promovido a distribuição das massas de águas fluviais pela área envolvente da plataforma interna e média.

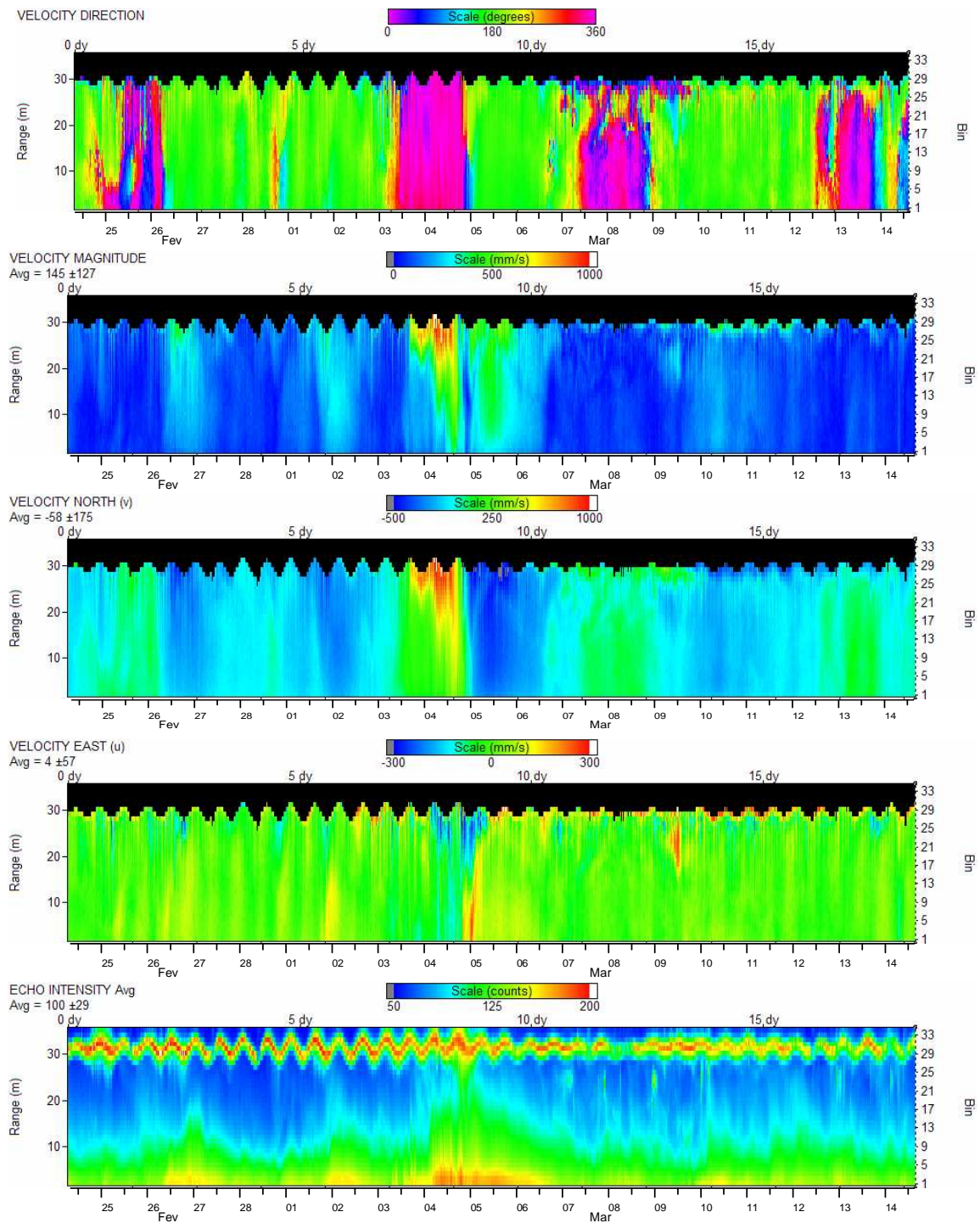


Figura 22. Direcção, intensidade (mm s^{-1}), componentes N-S (v) e E-W (u) da velocidade e intensidade de eco no perfilador de corrente (ADCP) fundeado na região da Apúlia, para o período de 24 de Fevereiro a 15 de Março de 2006

4.2 Campanha de 2007

4.2.1 Caudais das Principais Fontes de Água Doce

Durante o período das observações, o caudal médio foi 16% mais elevado no Douro (786 m³.s⁻¹) que no Minho (657 m³.s⁻¹). Os caudais instantâneos apresentaram extremos 37% mais elevados no Douro (2322 m³.s⁻¹) que no Minho (1456 m³.s⁻¹) (Tabelas VI e VII). Finalmente, o caudal mínimo no Minho foi de 66 m³.s⁻¹, ao passo que no Douro foram recorrentes as situações de caudal instantâneo nulo (Figura 23). O rio Douro terá sido, assim, o principal fornecedor de água doce ao oceano costeiro durante o período das observações em quantidade mas não em regularidade, excepto a partir de 12 de Fevereiro, em que o caudal varia em torno dos 1200 m³.s⁻¹. Neste intervalo, o caudal do Douro foi 26% mais elevado que o do Minho, continuando a ser a principal fonte de água doce no oceano. Tendo sido o caudal fluvial bastante elevado no Minho e no Douro, no intervalo referido, pode inferir-se que também o terá sido nos rios que se encontram entre eles. A regularização dos rios deixa de ser detectável neste período e o caudal mínimo no Minho é de cerca de 500 m³.s⁻¹ e do Douro rondam os 1000 m³.s⁻¹.

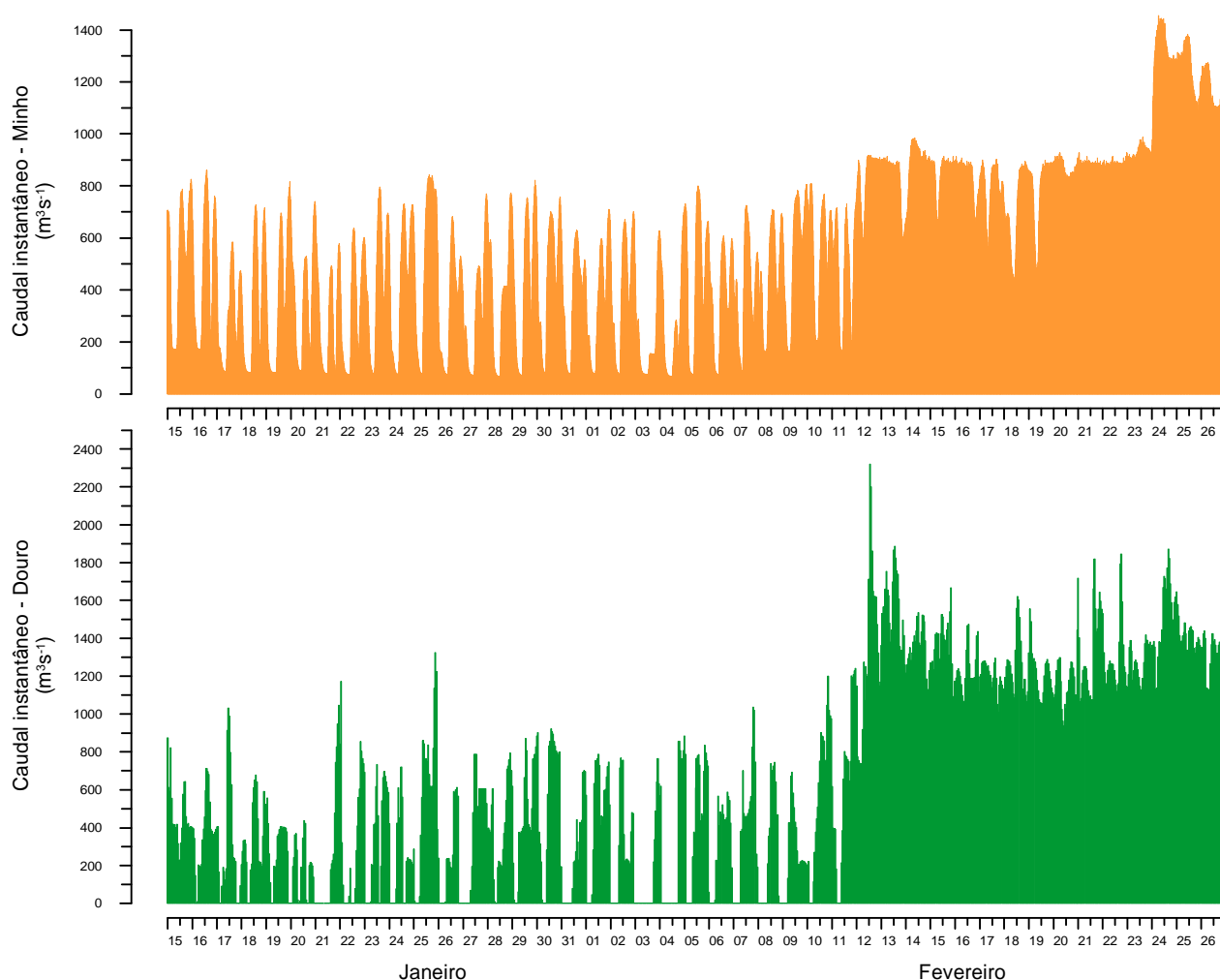


Figura 23. Caudais instantâneos dos rios Douro – lançado na Barragem de Crestuma-Lever (média 495 m³.s⁻¹) – e Minho – estação hidrométrica de Foz do Mouro (média 459 m³.s⁻¹) – no período 15 Janeiro a 26 Fevereiro 2007. (Fonte: Instituto da Água).

Tabela VI. Algumas estatísticas para os caudais instantâneos (m^3s^{-1}) lançados no estuário rio do Douro a partir da Barragem de Crestuma-Lever em períodos seleccionados. (Fonte: Instituto da Água)

Período	1º Quartil	Média	Mediana
15 Jan 00:00 – 17 Jan 18:00	232	406	396
17 Jan 18:15 – 23 Jan 23:45	0	267	208
24 Jan 00:00 – 29 Jan 23:45	0	356	369
30 Jan 00:00 – 02 Fev 23:45	0	371	318
03 Fev 00:00 – 06 Fev 23:45	0	288	124
07 Fev 00:00 – 11 Fev 18:00	0	386	391
11 Fev 18:15 – 23 Fev 23:45	1172	1298	1264
24 Fev 00:00 – 27 Fev 23:45	1351	1451	1401

Tabela VII. Algumas estatísticas para os caudais instantâneos (m^3s^{-1}) no rio Minho na estação hidrométrica de Foz do Mouro em períodos seleccionados. (Fonte: Instituto da Água)

Período	1º Quartil	Média	Mediana
15 Jan 00:00 – 17 Jan 18:00	182	432	417
17 Jan 18:15 – 23 Jan 23:45	124	348	333
24 Jan 00:00 – 29 Jan 23:45	139	397	411
30 Jan 00:00 – 02 Fev 23:45	191	390	417
03 Fev 00:00 – 06 Fev 23:45	105	327	280
07 Fev 00:00 – 11 Fev 18:00	309	488	526
11 Fev 18:15 – 23 Fev 23:45	834	836	880
24 Fev 00:00 – 27 Fev 23:45	1093	1188	1194

4.2.2 Condições Meteorológicas

O regime de ventos observado é similar em ambas as estações, no entanto existem diferenças na componente N-S da velocidade do vento. Aparentemente, para o mesmo intervalo de tempo, quando o vento está de S, o valor é maior em Viana do Castelo e quando está de N este é maior em Ferrel (Figura 24).

É possível estabelecer visualmente dois intervalos de tempo distintos atendendo ao comportamento meteorológico, particularmente nos registos da estação de Viana do Castelo (Figura 24, vermelho): de 15 de Janeiro a 7 de Fevereiro e a partir deste dia até ao fim da série temporal. No primeiro intervalo de tempo, a pressão ronda os 1020 hPa, sem grandes depressões. No segundo intervalo, a pressão torna-se bastante instável o que provoca diversas inversões bruscas no campo do vento.

Entre os dias 15 e 18 de Janeiro o vento cresce gradualmente até atingir os 10 m/s, sendo predominante de Sul, na zona de Viana do Castelo. Na estação de Ferrel, este aumento do vento não se fez sentir com tanta intensidade (Figura 24, azul). Em Viana do Castelo, desde o dia 18 de Janeiro até ao dia 7 de Fevereiro, o vento mantém-se fraco a moderado essencialmente do quadrante Norte, enquanto em Ferrel se observam períodos de 12 h de fortes rajadas acima dos 12 m/s, distribuindo-se pelas direcções N e NE. A componente E-W do vento ganha maior importância com a passagem de duas depressões a 22 e 25 de Janeiro (Figura 24).

Durante o levantamento hidrológico geral, entre 3 e 6 de Fevereiro, o vento manteve-se fraco, principalmente em Viana do Castelo, soprando de W e SW. A partir do dia 7 de Fevereiro, o vento apresentou-se forte com velocidades superiores a 10 m s^{-1} , observável nos dias 7, 9, 14, 19 e 21 de Fevereiro. Estes episódios de vento estão também associados a variações de quadrante devido a passagens sucessivas de sistemas depressionários, especialmente no período entre 8 e 22 de Fevereiro. Fortes inversões do sentido do vento fizeram-se sentir nos dias 8, 14 e 16 de Fevereiro na componente N-S (Figura 24).

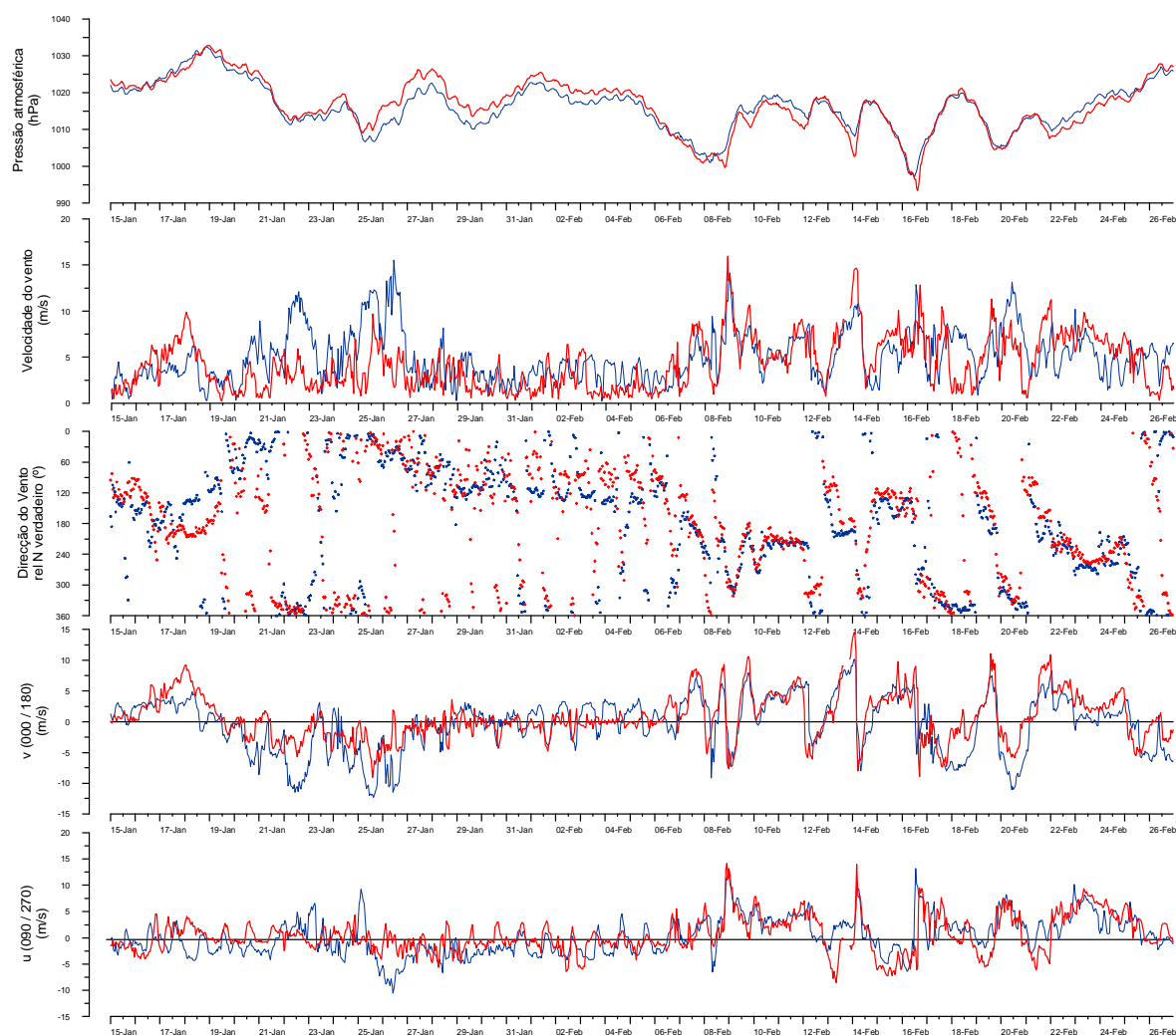


Figura 24. Observações meteorológicas realizadas nas estações de Viana de Castelo e Ferrel durante o período 15 Janeiro – 26 Fevereiro 2007 (A **vermelho** estão representados os dados de Viana do Castelo, e a **azul** os de Ferrel).

4.2.3 Maré

O período de observações decorreu durante 3 períodos de marés vivas e dois de marés mortas. O primeiro período de maré viva corresponde à situação de Lua Nova, com o pico a 19 de Janeiro às 04:01 horas, sendo a máxima amplitude de maré de 306 cm. O período de maré morta seguinte corresponde a uma situação de quarto crescente, no dia 25 de Janeiro às 23:01 horas, com uma amplitude mínima de 149 cm. Em situação de Lua Cheia, no dia 2 de Fevereiro às 05:45 horas, a amplitude de máxima maré viva foi inferior à maré viva anterior (290 cm). A maré morta seguinte, em situação de Quarto Minguante, ocorreu no dia 10 de Fevereiro às 09:51 horas, com uma amplitude mínima de maré de 77 cm, inferior à ocorrida anteriormente a 25 de Janeiro (Figura 25).

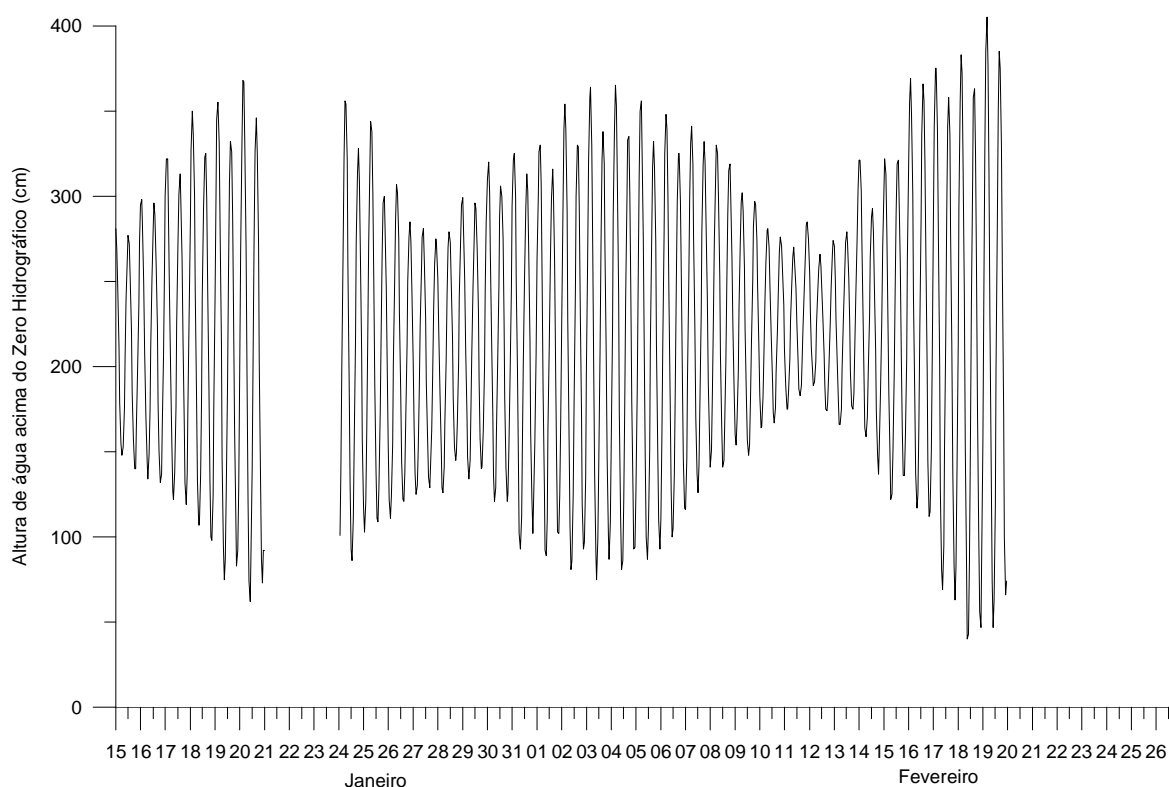


Figura 25. Alturas de água medidas no marégrafo de Viana do Castelo no período de 15 Janeiro a 20 Fevereiro 2007. (fonte: Instituto Hidrográfico).

O levantamento da hidrologia na zona entre o Porto e Viana do Castelo ocorreu nos dias 24, 26 e 29 de Janeiro, em situação de transição de maré viva para maré morta. A secção 1 foi amostrada entre as 13:38 horas e as 18:24 horas do dia 24 de Janeiro, em situação de enchente, com uma amplitude de maré de 242 cm. No dia 26 de Janeiro, entre as 12:57 horas e as 15:58 horas, realizou-se o levantamento da secção 2 em período de maré morta e situação de baixa-mar. As secções 3 e 4 foram realizadas no dia 29 das 09:17 horas às 16:11 horas, abrangendo o final de situação de enchente, a preia-mar e o início da vazante, em período de maré morta (Figura 25).

Dia 3 de Fevereiro às 13:17 horas, deu-se início ao levantamento hidrológico geral, prolongando-se até dia 4 de Fevereiro às 14:29 horas, tendo sido interrompido no fim da secção 11. Este período corresponde a dois ciclos de maré em situação de marés vivas. A amplitude média de maré no decorrer destas amostragens foi de 271 cm. O restante levantamento decorreu nos dias 5 e 6 de Fevereiro, desde as 17:11 horas até às 21:24 horas do dia seguinte. Este período compreendeu dois ciclos de maré, em situação de maré viva, com uma amplitude média de 322 cm (Figura 25).

4.2.4 Agitação Marítima

Relativamente à agitação marítima medida na bóia do Cabo *Sillero* (Figura 26), também se pode dividir o seu comportamento nos mesmos dois intervalos de tempo referidos para os registos meteorológicos: de 15 de Janeiro a 7 de Fevereiro, e desde este dia até ao final da série temporal. Excepto entre 18 e 24 de Janeiro, no primeiro intervalo temporal definido, a altura significativa ronda os 2 m. Nesse intervalo de 6 dias (18 a 24 de Janeiro), a altura significativa oscila em torno dos 4 m e o período de pico varia desde os 8 s aos 11 s. Entre os dias 30 de Janeiro e 7 de Fevereiro, o período de pico oscilou entre os 7 s e os 12 s e a altura significativa, entre os 2 os 3 m

No segundo intervalo temporal (de 7 a 26 de Fevereiro), as variações de período e amplitude das ondas coincidem com as oscilações do vento observadas nas estações meteorológicas de Viana do Castelo e Ferrel (Figura 26 e Figura 24). No dia 10 de Fevereiro, foi atingida a altura significativa mais elevada com cerca de 12 m e um período de 13 s.

Em toda a série temporal a direcção das ondas e de pico mantém-se maioritariamente no 4º quadrante. Quando a direcção da onda, modelada pelo vento, se apresenta de Oeste, o período médio de pico decresce para valores próximos dos 6 s, como se verifica nos dias 17 de Janeiro, 7, 13, 15 e 19 de Fevereiro, na Figura 26.

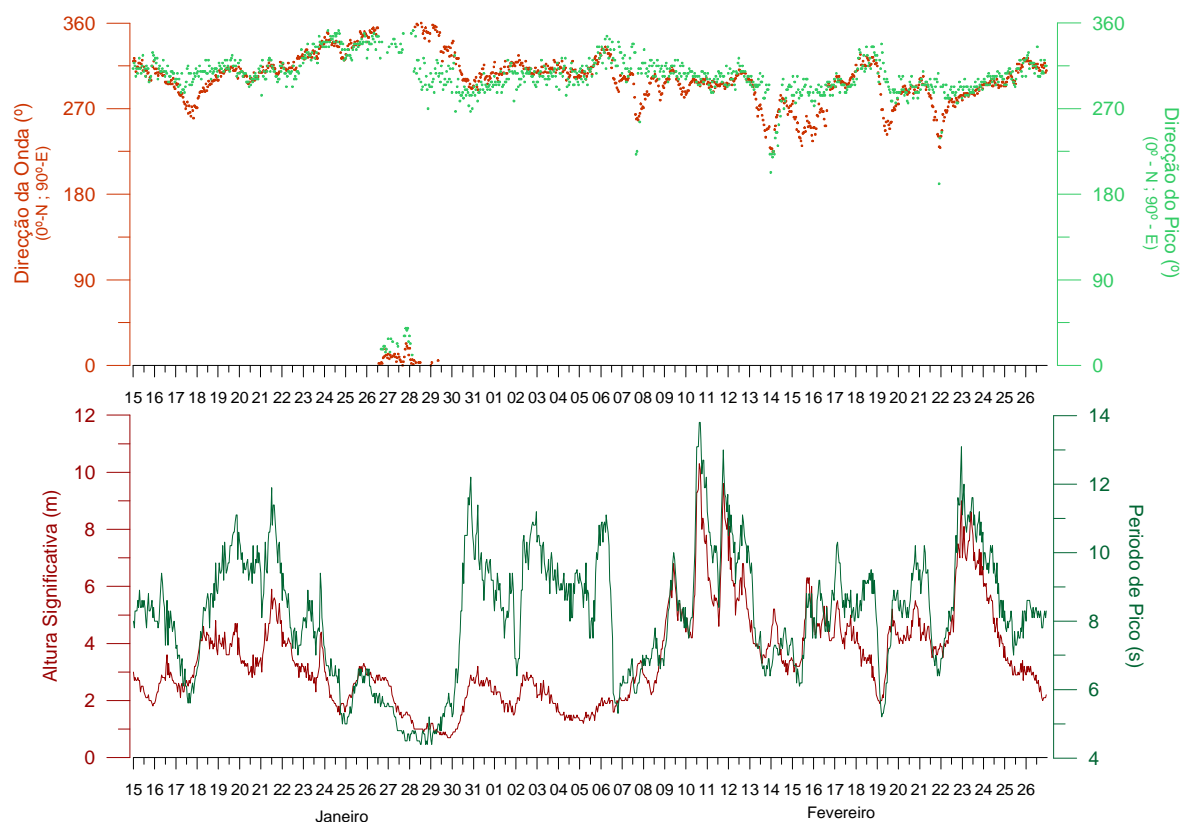


Figura 26. Altura significativa, Período de Pico, Direcção da Onda e Direcção do Pico medidos na bóia ondógrafo do Cabo *Sillero* no período de 15 Janeiro a 26 Fevereiro 2007. (fonte: Puertos del Estado).

Observando os registos de agitação marítima do ADCP fundeado na região da Apúlia (Figura 27), verifica-se que as variações da altura significativa e período de pico coincidem com as medidas pela bóia do Cabo *Sillero* (Figura 26). A distribuição da direcção das ondas também se mantém maioritariamente no 4º quadrante e coincide com a distribuição da direcção do vento (Figura 24).

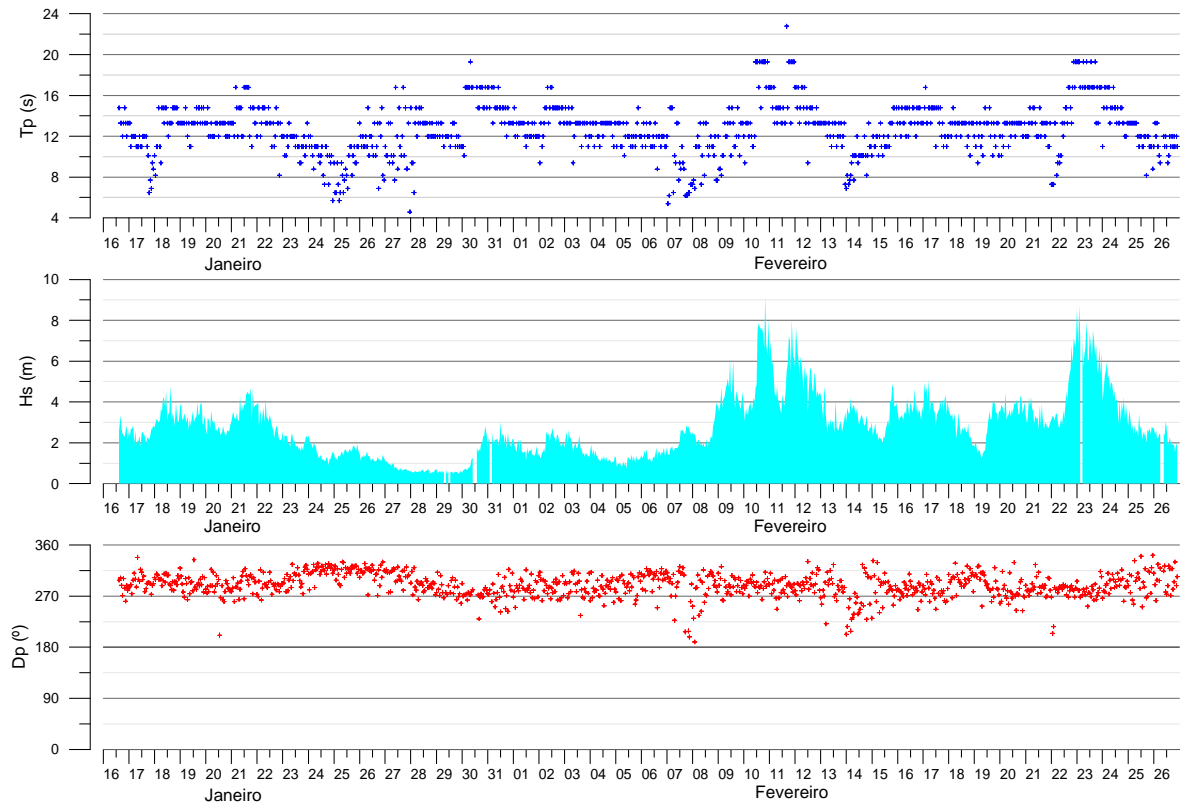


Figura 27. Período de pico (Tp), altura significativa (Hs) e direcção de pico (Dp) da agitação marítima no ADCP fundeado na região da Apúlia no período de 15 de Janeiro a 26 de Fevereiro de 2007.

4.2.5 Hidrologia

O levantamento encontra-se dividido em duas fases, tal como em 2006: a primeira realizada no período entre 24 e 29 de Janeiro e a segunda entre 3 a 6 de Fevereiro. Na primeira fase foram efectuadas 4 secções zonais, nas quais foram realizadas 49 estações, entre o Porto e Viana do Castelo. Na segunda fase foram efectuadas 13 secções zonais, numa área compreendida entre o cabo Finisterra e Aveiro, onde foram realizadas 171 estações (Figura 6).

O carácter sinóptico do levantamento durante a primeira fase foi prejudicado por diversas avarias ocorridas no navio, obrigando a suspender o levantamento. Estas paragens fizeram com que a cobertura das secções 1 a 4 tenha sido efectuada ao longo de 5 dias.

Nas representações gráficas correspondentes à área entre Aveiro e Finisterra, observada entre 3 e 6 de Fevereiro de 2007, há boa concordância entre os campos observados em todos os níveis de pressão representados (Figura 32 e Figura 33). Assim como na campanha de 2006, também na de 2007 aos valores mais baixos da densidade correspondem as temperaturas da água mais baixas, sendo a baixa salinidade que lhes está associada responsável pela baixa densidade. Confirma-se a situação característica da interacção de águas marinhas e continentais durante o Inverno. A influência fluvial continua a limitar-se a uma fina camada superficial – observável nas secções 10, 11, 12, 13 e 15 – não chegando a atingir o mesmo nível de pressão que em 2006 (20 dbar), abaixo do qual se regista grande homogeneidade. Identifica-se claramente uma faixa costeira de baixos valores de temperatura e salinidade, a que correspondem valores elevados de turbidez, constituída por três núcleos, podendo ser associados aos três principais rios: Douro, Minho e Lima, tal como no ano anterior. Continua a evidenciar-se, particularmente em sub-superfície, a influência da água oceânica ($t > 13^{\circ}\text{C}$, $S > 35.8$, turbidez $< 1\text{FTU}$) (Figura 32).

Secções 1 a 4, 24 – 29 Janeiro

Até ao dia 24 de Janeiro, o caudal do Douro foi bastante reduzido (cerca de $200\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) (Figura 23) e o vento apresentou-se fraco (Figura 24), o que proporcionou a fraca assinatura do Douro a norte deste (Figura 29). O

levantamento da secção 2 foi realizado dois dias após o anterior, entre as 13:00 e as 16:00 horas, com idênticos valores de caudal do Douro (Tabelas VI e VII e Figura 23) e brisa moderada a forte de NE (Figura 24). A 29 de Janeiro, realizou-se o levantamento das secções 3 e 4, sob valores relativamente baixos de caudal do Douro ($440 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e ventos fracos soprando de NE. Observa-se a escassa influência do rio Lima apenas na superfície (Figura 29) e a dispersão sedimentar nos primeiros 5 m de profundidade bem como junto ao fundo (Figuras 28 e Figura 29).

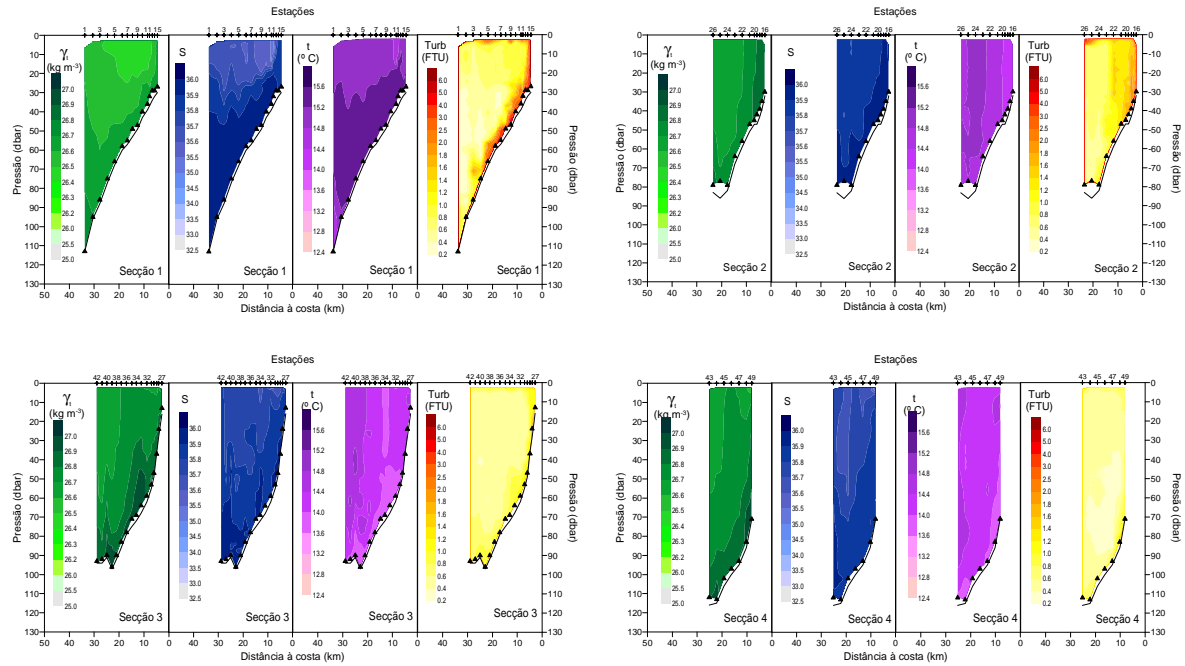


Figura 28. Levantamento hidrográfico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, Secção 1, 2, 3 e 4; 24 Janeiro 2007. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.

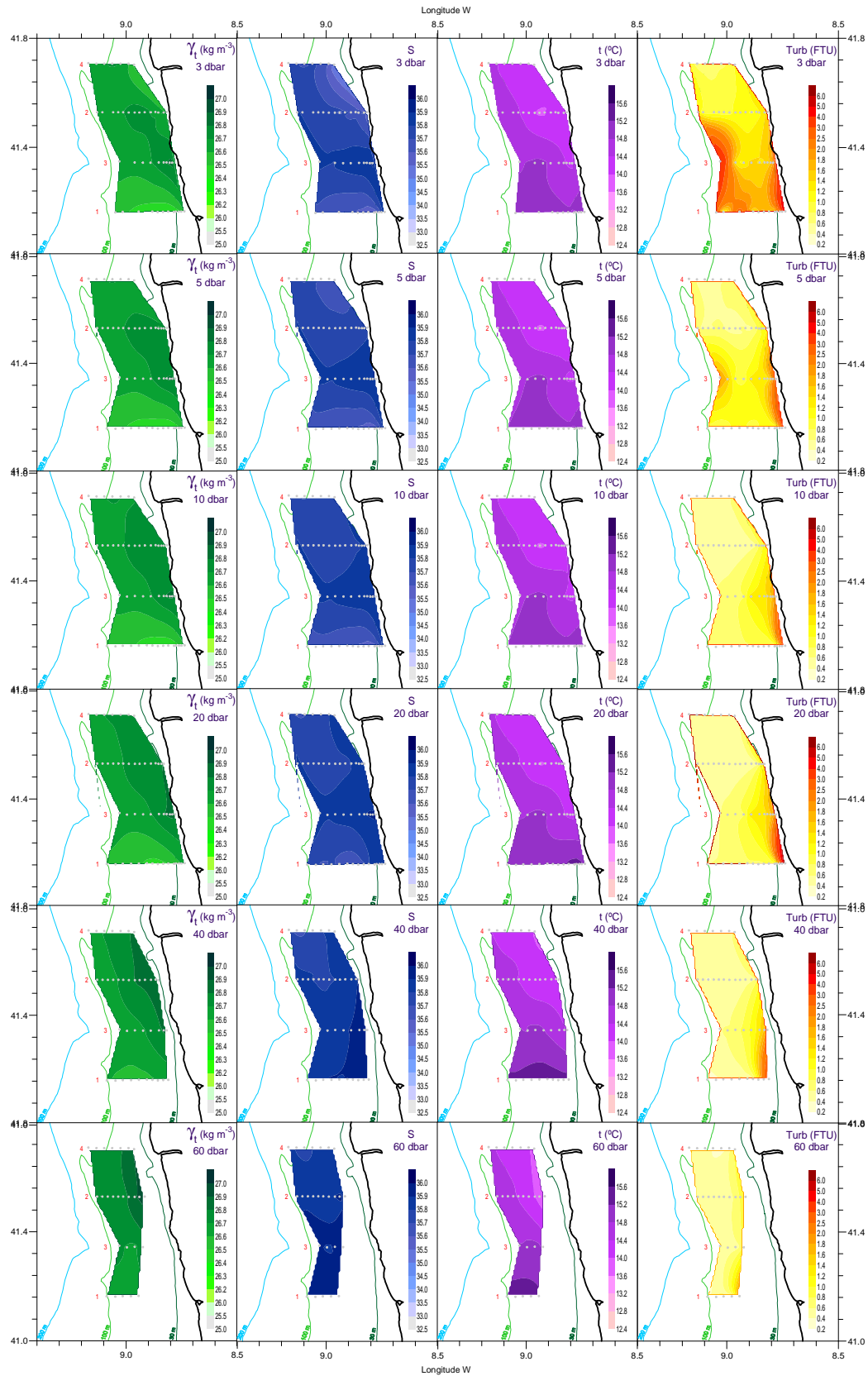


Figura 29. Levantamento hidrológico (CTD) da área Porto – Viana do Castelo, 24–29 Janeiro 2007. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 3, 5, 10, 20, 40 e 60 dbar.

Secções 5 a 17, 3 – 6 Fevereiro

O levantamento geral foi iniciado a 3 de Fevereiro na zona de Finisterra (Figura 6), abrangendo um período de reduzido caudal médio do Douro ($288 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e do Minho ($327 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e vento muito fraco na ordem dos 2 m/s de Oeste. As secções horizontais (Figura 32 e Figura 33) demonstram a influência do rio Minho na hidrologia, com valores de salinidade e temperatura mais baixos junto à embocadura, provocando um gradiente horizontal positivo em direcção ao largo. As Rias Galegas têm também alguma influência na zona entre as secções 5 e 8, confirmada pela diminuição da temperatura nas estações mais próximas da costa. Entre os 10 e os 40 dbar o mínimo da salinidade e temperatura situa-se a meio da plataforma sobre um fundo de cerca 70 m. Na Secção 11 (Figura 30) observa-se que o Minho influencia toda a coluna de água até cerca de 25 km da costa.

Nos últimos dois dias de levantamento hidroológico o escoamento fluvial dos dois principais rios manteve-se bastante baixo (Tabelas VI e VII) e a velocidade do vento aumentou progressivamente no dia 6 – antevendo a baixa pressão que se aproximava – rodando de E para SW (Figura 24). A influência do Douro é igualmente nítida até aos 20 dbar, provocando um gradiente horizontal da salinidade e temperatura até cerca dos 25 km da costa. Em termos de turbidez, o sinal obtido é inferior ao observável na secção em frente ao Minho (Figura 32 e Figura 33). Nas Secções 12 e 13 (Figura 30 e Figura 31), verifica-se que os valores mais altos de turbidez se encontram à superfície e no fundo, junto à margem, confirmando a influencia dos rios Minho e Lima nesta zona da plataforma. Nas secções 13, 15 e 16 (Figura 31), observa-se a remobilização do sedimento do fundo, bem como alguns valores mais elevados da turbidez a meio da coluna de água. Estes padrões são idênticos aos encontrados em algumas secções na campanha de 2006, pensando-se que estes possam ser originados pela propagação de ondas internas, já que estas originam turbulência e mistura com o consequente transporte vertical de matéria em suspensão. No entanto, não é possível concluir eficazmente esta dependência, já que o tipo de observações efectuadas não se adequa ao estudo deste fenómeno.

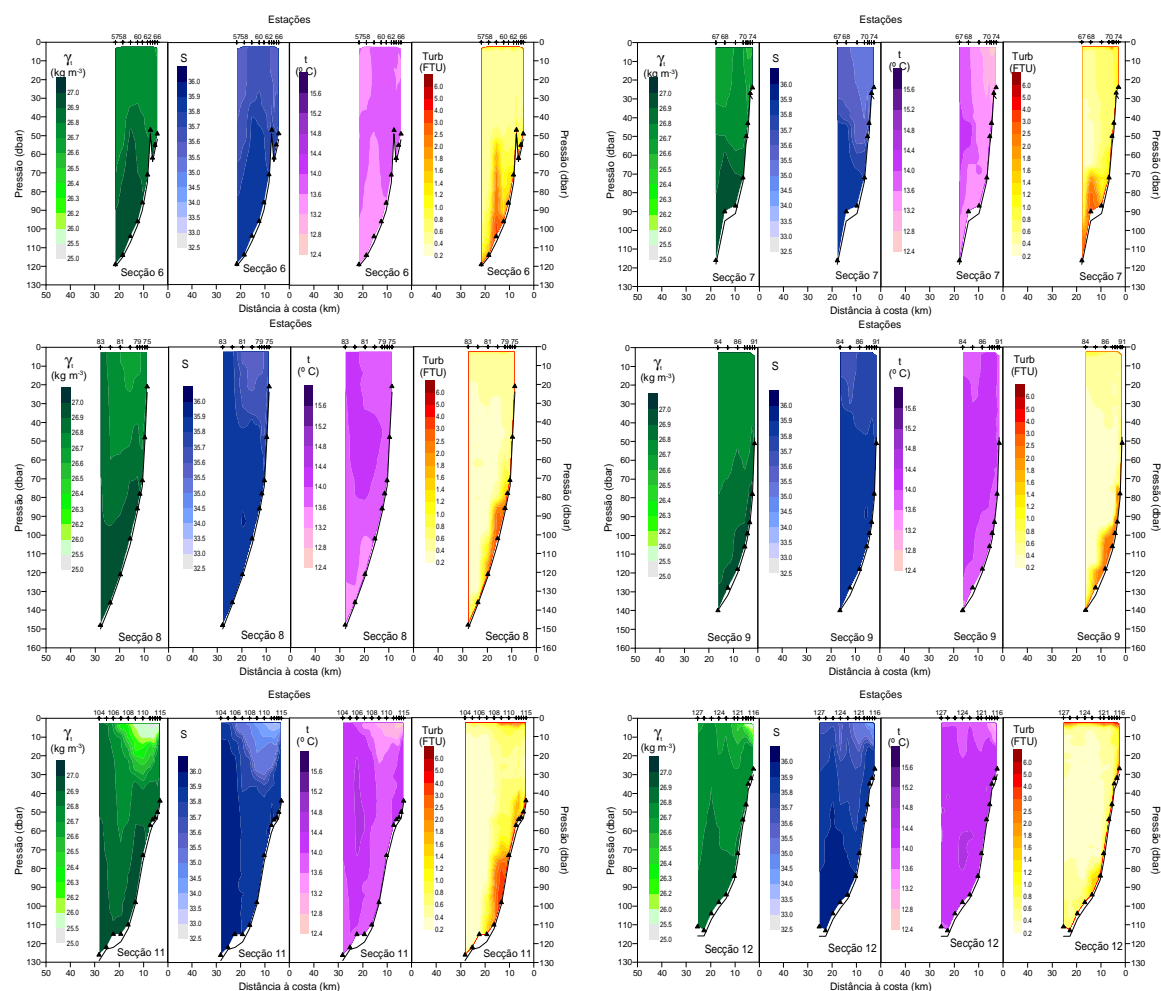


Figura 30. Levantamento hidroológico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, Secções 6, 7, 8, 9, 11 e 12; 3, 4 e 5 Fevereiro 2007. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.

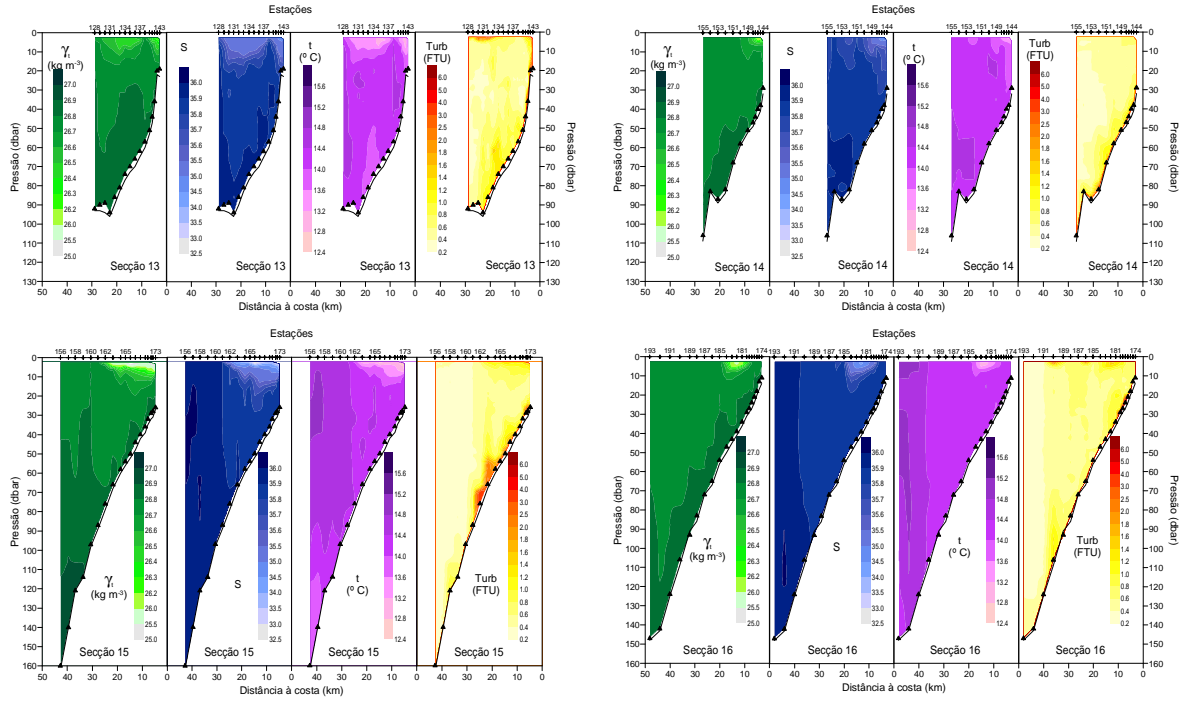


Figura 31. Levantamento hidrográfico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, Secções 13, 14, 15 e 16; 5 e 6 Fevereiro 2007. Distribuições verticais da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez.

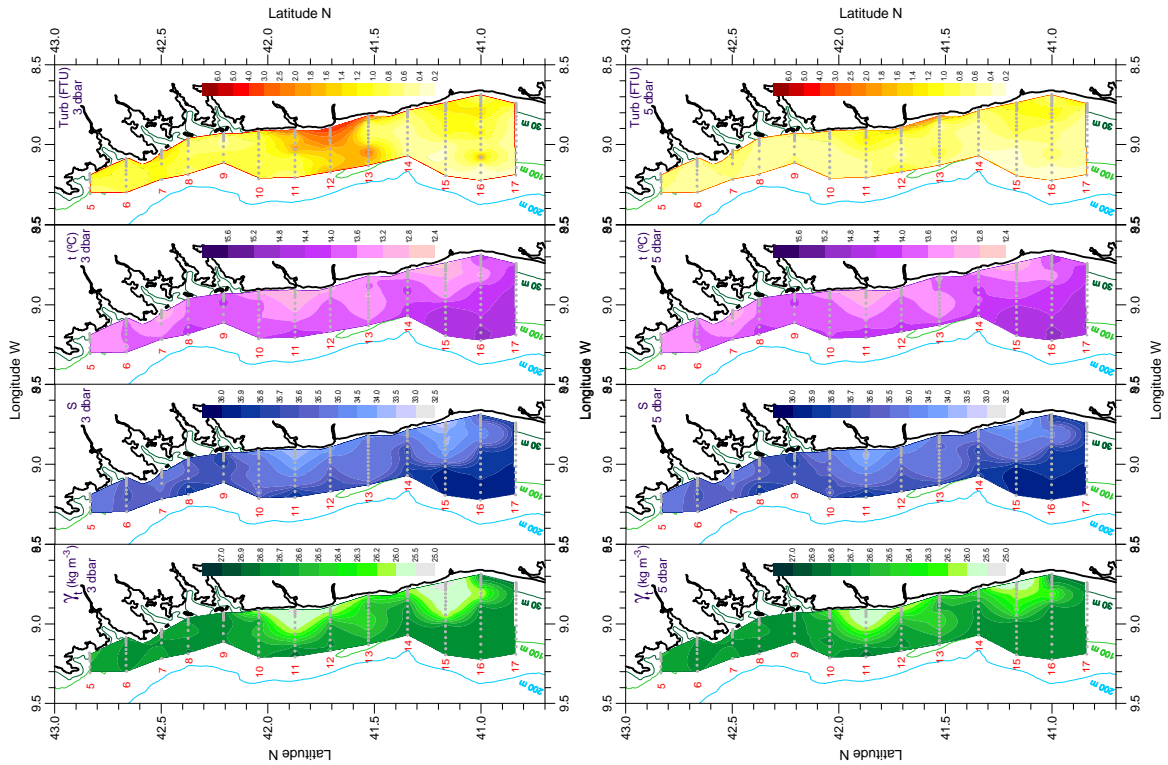


Figura 32. Levantamento hidrográfico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, 3 – 6 Fevereiro 2007. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 3 e 5 dbar.

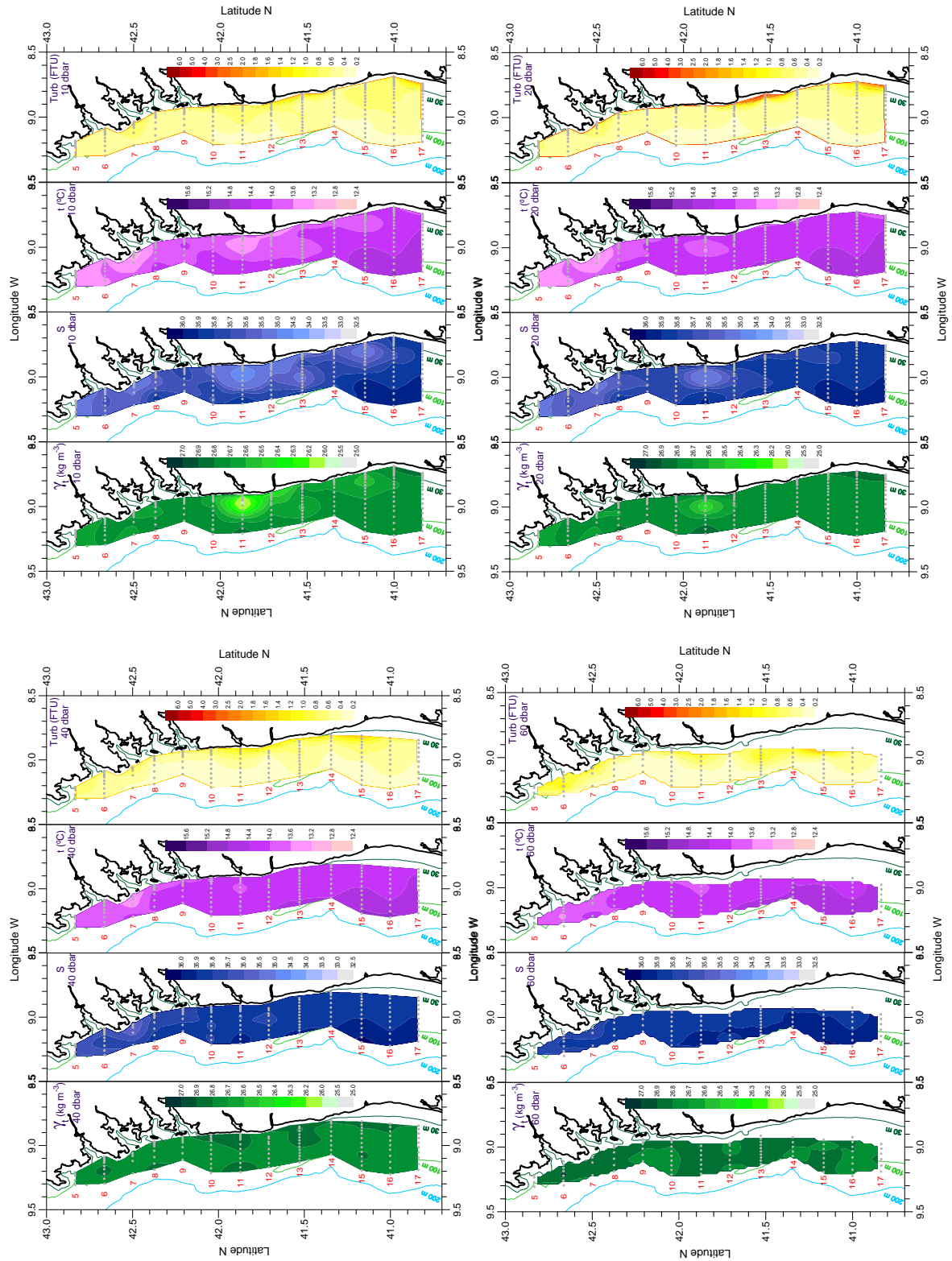


Figura 33. Levantamento hidrográfico (CTD) geral da área Aveiro-Finisterra, 3–6 Fevereiro 2007. Distribuições da anomalia da massa específica, salinidade, temperatura e turbidez aos 10, 20, 40 e 60 dbar.

4.2.6 Correntometria

Obteve-se uma sucessão cronológica de perfis de corrente, durante cerca de 41 dias, através do ADCP fundeado na posição 41° 26' 26.6" N – 008° 49' 05.5" W, na batimétrica dos 33 m.

As observações de corrente realizadas na plataforma interna (Figura 34) revelaram uma corrente essencialmente paralela à costa. A direcção da corrente, que pode ser visualizada na Figura 34, alterna entre as direcções Sul e Norte, com predominância para esta última. Os valores máximos da corrente ocorreram à superfície quando esta se dirige para Norte, chegando a atingir valores na ordem de 1.5 m s⁻¹.

O forçamento da maré é observável na componente transversal (E-W) da corrente, com uma amplitude próxima dos 10 cm s⁻¹ (Figura 34). Os valores mais elevados desta componente, que rondam os 30 cm s⁻¹, ocorreram entre os dias 8 e 25 de Fevereiro, num período com considerável influência do vento e do escoamento fluvial.

Durante as observações realizadas em Janeiro-Fevereiro de 2007, a componente meridional do vento alternou entre a direcção N e S, com predominância para os ventos vindos de S, reflectindo-se no campo da corrente com a presença de inversões na sua direcção (Figura 34). O campo da corrente segue o padrão do vento, com um atraso de cerca de 12 h. O vento atinge velocidades próximas dos 5 m s⁻¹ durante cerca de dois dias (entre os dias 17 e 19 de Janeiro, 10 e 11 de Fevereiro e 22 e 23 de Fevereiro), e sopra forte em períodos de 12 h e velocidades superiores a 10 m s⁻¹, observável nos dias 7, 9, 14, 19 e 21 de Fevereiro. Ambas as situações provocam uma corrente para N.

Na maior parte das situações em que se observam inversões na direcção do vento, estas apenas enfraquecem a sua intensidade, embora por vezes também provoquem inversões na direcção da corrente (dia 12 de Fevereiro, por exemplo).

Nos dias 17 a 19 de Janeiro o vento soprou com intensidades entre os 5 e os 10 m s⁻¹ de S e o campo da corrente correspondeu com o do vento, mais intenso à superfície. Quando o vento passou a soprar de N, a corrente rodou para S no dia 20 de Janeiro, ficando estabelecida durante sensivelmente 8 dias. O relaxamento do vento, do dia 27 de Janeiro até ao dia 7 de Fevereiro, provoca uma oscilação na direcção da corrente, com um período de cerca de 96 horas, com amplitudes na ordem dos 10 a 20 cm s⁻¹ (Figura 34).

A partir do dia 7 de Fevereiro a direcção da corrente e do vento são semelhantes, tendo as oscilações na direcção do vento provocado uma igual oscilação da direcção da corrente. No dia 13 de Fevereiro, ocorre o valor máximo da velocidade da corrente, com um valor de cerca de 150 cm s⁻¹.

As amplificações na intensidade de eco (Figura 34) surgem, nas camadas junto ao fundo, em alguns períodos associados ao aumento da agitação marítima, onde os valores são máximos durante os períodos de maior agitação (18 a 20 Janeiro, 9 a 13 Fevereiro e 23 a 25 de Fevereiro). No entanto, existem outros momentos em que a ondulação não será suficiente para criar um aumento na re-suspensão de sedimentos, como nos dias 26-27 de Janeiro. O aumento da matéria em suspensão pode estar a ser influenciado não só pela ondulação, como também pela corrente. Esta correspondência pode ser verificada entre as imagens da intensidade de eco, altura da agitação marítima e corrente no fundo observada no ADCP (Figuras 27 e Figura 34).

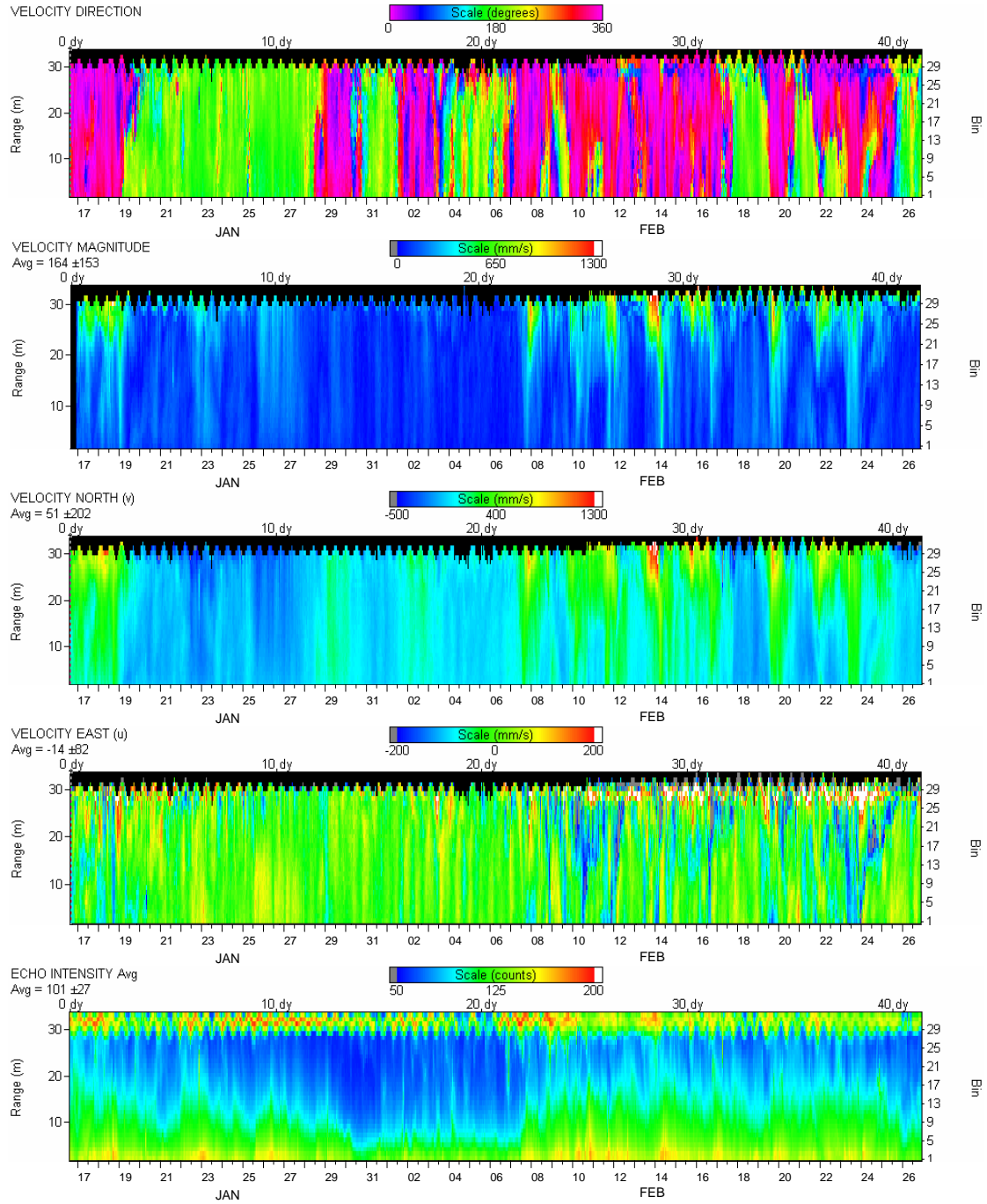


Figura 34. Direcção, intensidade (mm s^{-1}), componentes N-S (v) e E-W (u) da velocidade e intensidade de eco no perfilador de corrente (ADCP) fundeado na região da Apúlia, para o período de 15 de Janeiro a 26 de Fevereiro de 2007.

CAPÍTULO V: Conclusões

Partindo da discussão em torno dos resultados obtidos é possível sintetizar e concluir algumas ideias relativas à caracterização hidrológica da zona em estudo.

Ambas as campanhas apresentaram situações típicas de Inverno, sendo a influência fluvial visível numa camada de cerca de 20 – 30 m de profundidade, parecendo claro que os rios Douro e Minho, em 2006, estiveram relacionados com a geração desta lente superficial de baixa salinidade e elevada turbidez. Reuniu-se evidência de que o Douro deverá ter contribuído para o reforço de uma corrente induzida pelo vento. Com base nos valores dos primeiros quartis dos caudais do Douro, é ainda sugestivo considerar o nível $400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ como crítico para a geração de um fluxo superficial para N na ausência de vento desfavorável. Há indícios da presença de ondas internas na zona estudada, denunciadas pelos padrões intermitentes de turbidez, tendo também o Beiral de Viana alguma influência no desenvolvimento dessas ondas.

Durante o período das observações da campanha NICC 2007 é evidente que existe uma corrente costeira que responde aos episódios de vento, não sendo contudo evidente que esteja a ser influenciada pelo escoamento fluvial. Verifica-se de facto que até aos valores de caudal observados, que não ultrapassaram os $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o vento é dominante na influência sobre a corrente. Esta é essencialmente polarizada paralelamente à costa, sendo a componente transversal de menor intensidade e forçada pela maré.

Identificou-se uma faixa costeira de baixos valores de temperatura e salinidade correspondente ao sinal fluvial. As lentes superficiais de turbidez dependem directamente das variações de caudal. Em sub-superfície identifica-se a influência de águas marinhas.

Em grande parte a resuspensão de sedimentos é devida à agitação marítima e à corrente. Esses sinais de turbidez representam a soma das contribuições fluviais com as da agitação marítima.

Com ventos do quadrante Norte, existe uma resposta superficial para o largo, com um jacto costeiro para Sul, dispersando os sinais do escoamento fluvial pela plataforma. É possível caracterizar uma situação típica de Inverno na zona NW Ibérica, com uma circulação dirigida para norte induzida por ventos de S e SW (circulação atmosférica ciclónica). Caracteriza-se também pelo estabelecimento de uma frente termohalina que impede a dispersão das massas de água superficial para o largo, principalmente em períodos de forte caudal. A dispersão afecta essencialmente a camada nefelóide de fundo, correspondendo normalmente a situações de downwelling.

Com este trabalho foi possível caracterizar, em situação de Inverno, a zona interior da plataforma continental NW Ibérica. O estudo da dispersão das águas estuarinas e da dinâmica sedimentar na plataforma associa-se ao estudo da circulação a longo termo das massas de água. Até agora, não existem séries contínuas longas de medições de correntes, nem estações de monitorização multi-parâmetros (temperatura, salinidade, turbidez, correntes, etc.) para a monitorização desta importante zona, que poderiam certamente fazer progredir o conhecimento oceanográfico sobre a mesma. Estão, no entanto, a surgir projectos nacionais empenhados em dotar a região da plataforma NW Ibérica, especificamente a plataforma portuguesa, com redes de observação permanente capazes de fazer frente a esta lacuna. A utilização integrada de satélites que permitem visualizar os movimentos horizontais de massas de água superficiais, aliados aos modelos numéricos e às observações *in situ*, vão permitir o conhecimento global do meio natural e dos processos que o controlam, oferecendo assim uma ferramenta para a gestão integrada e responsável da plataforma continental e estuários.

REFERÊNCIAS

- Alvarez, I., Gomez-Gesteira, M., deCastro, M. e Dias, J. M., (2008). "*Spatiotemporal Evolution Of Upwelling Regime Along The Western Coast Of The Iberian Peninsula*". Journal of Geophysical Research, **113**, C07020.
- ANON, (1981). "*The Practical Salinity Scale 1978 And The International Equation Of The State Of Seawater 1980*", Unesco Technical Papers in Marine Science, **36**, 25pp.
- ANON., (1983). "*Algorithms For Computation Of Fundamental Properties Of Seawater*", Unesco Technical Papers in Marine Science, **44**, 53pp.
- Barton, E. D., Inall, M. E., Sherwin T. J. e Torres, R., (2001). "*Vertical Structure, Turbulent Mixing And Fluxes During Lagrangian Observations Of An Upwelling Filament System Off Northwest Iberia*", Progress in Oceanography, **51**, 249-267.
- Bogucki, D., Dickey, T., Redekopp, L.G., (1997). "*Sediment Resuspension And Mixing By Resonantly Generated Internal Solitary Waves*". Journal of Physical Oceanography, **27**, 1181-1196.
- Bryden, H. L., (1973). "*New Polynomials For Thermal Expansion, Adiabatic Temperature Gradient And Potential Temperature Of Seawater*", Deep-Sea Research, **20** 401-408.
- Cacchione, D.A., Pratson, L.F., Ogston, A.S., (2002). Science, **296**, 724-727.
- Cacchione, D.A., Drake, D.E., (1986). "*Nepheloid Layers And Internal Waves Over Continental Shelves And Slopes*". Geo-Marine Letters, **6**, 147-152.
- Costa, C., (1994). "*Final Report Of Sub-Project 'A Wind Wave Climatology Of The Portuguese Coast'*", Report PO-Waves 6/94, IH/LNEC, 80pp.
- Daveau, S., (1977). "*Um Exemplo De Aplicação Da Teledetecção À Investigação Geográfica. A Glaciação Quaternária Das Montanhas Do Noroeste De Portugal*", Finisterra, XII, **23**, Lisboa, 156-159.
- Daveau, S., devy-vareta, N., (1985). "*Gélifraction, Nivation Et Glaciation d'Abri De La Serra Da Cabreira*". Actas da 1.^a Reunião do Quaternário Ibérico, **1**, Lisboa, 75-84.
- Davies, J. L., (1964). "*A Morphologic Approach To World Shorelines*", Zeits. Geomorph., **8**, 127-142.
- Dias, J. M. A. (1987). "*Dinâmica Sedimentar E Evolução Recente Da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*", Univ. Lisboa, 384pp.
- Dias, J. M. A., Gonzalez, R., Garcia, C e Diaz-del-Rio, V., (2002b). "*Sediment Distribution Patterns On The Galicia-Minbo Continental Shelf*", Progress in Oceanography, **52**, 2-4, 215-231.
- Dias, J. M. A., Jouanneau, J. M., Gonzalez, R., Araújo, M. F., Drago, C., Oliveira, A., Rodrigues, A., Vitorino, J. e Weber, O., (2002a). "*Present Day Sedimentary Processes On The Northern Iberian Shelf*", Progress in Oceanography, **52**, 2-4, 249-259.
- Drago, T., Magalhães, F., Rodrigues, A. e Dias, J. M. A., (1991). "*O Beiral De Viana: Enquadramento Geológico*", Simpósio "A plataforma continental portuguesa: evolução e processos condicionantes", Lisboa, 28pp.
- Drago, T., Oliveira, A., Magalhães, F., Cascalho, J., Jouanneau, J. M. & Vitorino, J. (1998). "*Some Evidences Of The Northward Fine Sediments Transport In The Northern Portuguese Continental Shelf*". Oceanologica Acta, **21(2)**, 223-231.
- Egbert, G. D. e Ray, R. D., (2000). "*Significant Dissipation Of Tidal Energy In The Deep Ocean Inferred From Satellite Altimeter Data*", Nature, **405**, 775-778.
- Fiúza, A., Macedo, M. e Guerreiro, R., (1982). "*Climatological Space And Time Variation Of The Portuguese Coastal Upwelling*". Oceanologica Acta, **5**, 1, 31-40.
- Fofonoff, N. P., (1977). "*Computation Of Potential Temperature Of Seawater For An Arbitrary Reference Pressure*", Deep-Sea Research, **24**, 489-491.
- Frouin, R., Fiúza, A. F., Âmbar, I. e Boyd, T. J., (1990). "*Observations Of A Poleward Surface Current Off The Coastal of Portugal and Spain During Winter*", Journal of Geophysical Research, **95**, 697-691.
- Garcia, C. (1997). "*Dispersão E Deposição Da Matéria Particulada Transportada Em Suspensão Para A Plataforma Continental Adjacente Aos Rios Tejo E Sado*". Tese de Mestrado, Univ. de Lisboa (not published).
- Gonzalez, N., Nunes, M. T., Iglesias, M. L. e Cabanas, J. M., (1980). "*Introduccion Al Estudio De La Plataforma Continental Contigua A Las Rias Gallegas*", Boletín del Instituto Español de Oceanografía, **5**, 2, 79-87.
- Haynes, R. e Barton, E. D., (1990). "*A Poleward Flow Along The Atlantic Coast Of The Iberian Peninsula*". Journal of Geophysical Research, **95**, C7, 11425-11441.
- Huthnance, J.M., Van Aken, H.M., White, M., Barton, E.D., Le Cann, B., Coelho, E.F., Alvarez Fanjul, E., Miller, P. e Vitorino, J. (2002). "*Ocean Margin Exchange-Water Flux Estimates*", Journal of Marine Systems, **32**, 107-137.
- Jeans, D.R.G. & Sherwin, T.J. (2001a). "*The Variability Of Strongly Non-Linear Solitary Internal Waves Observed During An Upwelling Season On The Portuguese Shelf*", Continental Shelf Research, **21**, 1855-1878.

- Jeans, D.R.G. & Sherwin, T.J. (2001b). "Energetics Of Non-Linear Internal Waves On The Portuguese Shelf", *Journal of Marine Research*, **59**, 327-353.
- Jouanneau, J.M., Garcia, C., Oliveira, A., Rodrigues, A., Dias, J.A. e Weber, O., (1998). "Dispersal And Deposition Of Suspended Sediment On The Shelf Off The Tagus And Sado Estuaries, SW Portugal", *Progress in Oceanography*, **42**, 233-257.
- Madelain, F., (1967). "Étude Hydrologique Au Large De La Peninsula Iberica", *Cahier Oceanographique*, **19**, 125-136.
- Magalhães, F., Dias, J. M. A. E Taborda, R., (1991a). "Caracterização e dinâmica dos depósitos de inertes da Plataforma Continental Norte-Portuguesa", *Memórias e Notícias*, **112**, 285-298.
- Marta-Almeida, M., Dubert, J., (2006). "The Structure Of Tides In The Western Iberian Region", *Continental Shelf Research*, **26**, 385-400.
- Martins, C.S. (1996). "Surface Currents In The Iberian Atlantic As Observed With Drifters. MORENA (EU Contract N°MAS2-CT93-0065)". Scientific and Technical Report, **32**, 12p.
- Martins, M. V. A., (2003). "Margem Continental NW Ibérica: Estudo De Mudanças Paleoceanográficas E Paleoclimáticas Durante O Quaternário", Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 605pp.
- Mazé, J. P., Arhan, M. e Mercier, H., (1997). "Volume Budget Of The Eastern Boundary Layer Off The Iberian Peninsula", *Deep-Sea Research I*, **44**, 1543-1574.
- Millero, F. J., Chen, C. T., Bradshaw, A. e Schleicher K., (1980). "A New High Pressure Equation Of State For Seawater", *Deep-Sea Research*, **27A**, 255-264.
- Millero, F. J., Poisson, A., (1981). "International One Atmosphere Equation Of State Of Seawater", *Deep-Sea Research*, **28A**, 625-629.
- Mucellec, P. (1974). "Geologie Du Plateau Continental Portugais Au Nord Du Cap Carvoeiro". Thèse 3ème cycle, Univ. Rennes, 170pp (não publicado).
- Munk, W. H. e Wunsch, C., (1998). "Abyssal Recipes II: Energetics Of Tidal And Wind Mixing", *Deep-sea research*, **45**, 12, 1977-2010.
- Noble, M.A., Xu, J.P., (2003). "Observations Of Large-Amplitude Cross-Shore Internal Bores Near The Shelf Break, Santa Monica Bay, CA". *Marine Environmental Research*, **56** (1-2), 127-149.
- Oliveira, A. (1994). "Plumas Túrbidas Associadas Com Os Rios A Norte De Espinho". Tese de Mestrado, Univ. de Aveiro, 182pp (não publicada).
- Oliveira, A. (2001). "Dinâmica Da Matéria Particulada Em Suspensão Na Plataforma Continental Minhoto E Sua Relação Com A Cobertura Sedimentar", Tese de Doutoramento, Univ. Algarve, 278pp.
- Oliveira, A.; Dias, J.M.A. e Jouanneau, J.M., (1994). "Characterisation Of The River Plumes Connected With The Rivers Of Northern Portugal (Minho, Lima, Ave And Douro)", *Gaia*, **9**, 7-9.
- Oliveira, A.; Dias, J.M.A. e Jouanneau, J.M., (1995). "Natureza Da Matéria Em Suspensão Na Plataforma Continental A Norte De Espinho", *Memórias Museu Lab. Min. Geol. Porto*, **4**, 959-963.
- Oliveira, A., Santos, A. I., Rodrigues, A. e Vitorino, J., (2007). "Sedimentary Particle Distribution And Dynamics On The Nazaré Canyon System And Adjacent Shelf (Portugal)", *Marine Geology*, **246**, 105-122.
- Otero, P., Ruiz-Villareal, M. e Peliz, A., (2008). "Variability Of River Plumes Off Northwest Iberia In Response To Wind Events", *Journal of Marine Systems*, **72**, 238-255.
- Peliz, A. e Fiúza, A. F., (1999). "Temporal and Spatial Variability of CZCS-Derived Phytoplankton Pigment Concentrations Off the Western Iberian Peninsula". *International Journal of Remote Sensing*, **7**, 1363-1403.
- Peliz, A., Rosa, T. L., Miguel, A., Santos, P. e Pissarra, J. L., (2002). "Fronts, Jets And Counter-Flows In The Western Iberian Upwelling System", *Journal of Marine Systems*, **35**, nº 1-2, 61-77.
- Pita, C. & Santos J., (1989). "Análise Dos Temporais Da Costa Oeste De Portugal Continental (1956 A 1988)". Rel 1/89 – A, PO-WAVES/ Sub-projecto A (Tarefa A3-2) IH-LNEC, 29pp.
- Puig, P., Palanques, A., Guillén, J., El Khatab, M., (2004). "Role Of Internal Waves In The Generation Of Nepheloid Layers On The Northwestern Alboran Slope: Implications For Continental Margin Shaping". *Journal of Geophysical Research*, **109**, C09011.
- Quaresma, L., (2006). "Observação De Ondas Internas Não-Lineares Geradas Sobre O Canhão Submarino Da Nazaré", Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, 98pp.
- Relvas P., Barton E.D., Dubert J., Oliveira P.B., Peliz A., da Silva J.C.B. e Santos A.M.P. (2007). "Physical Oceanography Of The Western Iberia Ecosystem: Latest Views And Challenges", *Progress in Oceanography*, **74**, 2-3, 174-191.
- Ríos, A. F., Pérez, F. F. e Fraga, F., (1992). "Water Masses In The Upper And Middle North Atlantic East Of Azores", *Deep-Sea Research*, **39**, 3/4, 645-658.
- Rodrigues, A. e Drago, T., (1990). "A Relação Relevo-Estrutura No Beiral De Viana", *Anais do Instituto Hidrográfico*, **11**, 19-30.

- Rodrigues, A., (2001). "Tectono-Estratigrafia da Plataforma Continental Setentrional Portuguesa"; Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 227pp.
- Rossa, E., (2007). "Relatório Técnico Final Exercício Militar Context/Phibex2007", REL PT OC 01/2008, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 14 p.
- Ryan, J. P., Chavez F. P., Bellingham J. G., (2005). "Physical-Biological Coupling In Monterey Bay, California: Topographic Influences On Phytoplankton Ecology", Marine Ecology Progress Series, **287**, 23-32.
- Schmidt, S. Chou, L. e Hall, I.R., (2002). "Article Residence Times In Surface Waters Over The North-Western Iberian Margin: Comparison Of Pre-Upwelling And Winter Periods", Journal of Marine Systems, **32**, 3-11.
- Sherwin, T. J., Inall, M. E. e Torres, R. J., (2002b). "The Seasonal And Spatial Variability Of Small Scale Turbulence At The Iberian Margin", Journal of Marine Research, **60**, 73-100.
- Sherwin, T. J., Vlasenko, V. I., Stashchuk, N., Jeans, D. R. G. e Jones, B., (2002a). "Along-Slope Generation As An Explanation For Some Unusually Large Internal Tides", Deep-Sea Research, **49**, 19, 1787-1799.
- Silva, A. J. (1992). "Dependence Of Upwelling Related Circulation On Wind Forcing And Stratification Over The Portuguese Northern Shelf". ICES C.M., C17, 1-12.
- Silva, A. J., Marreiros M. J., Almeida, S.L., (1990). "Metodologia De Processamento De Dados De CTD Desenvolvida No Instituto Hidrográfico", Anais do Instituto Hidrográfico, **11**, 7-18.
- Silva, A. J., Martins, I., Bastos, L., (2008). "Avaliando a Existência de uma Corrente Costeira Noroeste Ibérica", 6ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica, Tomar, Portugal.
- van Aken, H. M., (2001). "The Hydrography Of The Mid-Latitude North-East Atlantic Ocean - Part III: The Subducted Thermocline Water Masses." Deep-sea Research I, **48**, 237-267.
- Vanney, J. R. & Mougenot, D. 1981. "La Plate-Forme Continentale Du Portugal Et Les Provinces Adjacentes: Analyse Géomorphologique". Mem. Serv. Geol. Portugal, **28**, 145pp.
- Vitorino, J. Caldas, J. & Marreiros, M. (1999). "Current Measurements Over The Northern Portuguese Shelf: January-May 1998". Instituto Hidrográfico. Rel. TF.OC **2/99**, 36pp.
- Vitorino, J. P. N. (1989). "Circulação Residual Ao Largo Da Costa NW De Portugal Durante O Afloramento De 1978". Anais do Instituto Hidrográfico, **10**, 25-37.
- Vitorino, J. P. N. e Coelho, E. F., (1998). "Water Mass Dynamics At The Northwest Iberian Margin", 1st scientific report of the Project OMEX II-II, 29pp.
- Vitorino, J. P. N., Oliveira, A. T. C., Jouanneau, J. M. & Drago, T. P. 2000. "Winter Dynamics And The Transport Of Fine Sediments On The Northern Portuguese Shelf". 3º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica, Faro, 279-280.
- Vitorino, J., Oliveira, A., Jouanneau, J. e Drago, T., (2001). "Winter dynamics on the northern Portuguese shelf: It's importance to fine sediment transport", Progress in oceanography, *submetido*.
- Vitorino, J., Oliveira, A., Jouanneau, J.M. e Drago, T. (2002a). "Winter Dynamics On The Northern Portuguese Shelf. Part 1: Physical Processes", Progress in Oceanography, **52 (2-4)**, 129-153.
- Vitorino, J., Oliveira, A., Jouanneau, J.M. e Drago, T. (2002b). "Winter Dynamics On The Northern Portuguese Shelf. Part 2: Bottom Boundary Layers And Sediment Dispersal", Progress in Oceanography, **52 (2-4)**, 155-170.
- Wilkinson, W.B.; Leeks, G.J.L.; Morris, A. e Walling, D.E., (1997). "Rivers And Coastal Research In The Land Ocean Interaction Study", The Science of the Total Environment, **194/195**, 5-14.
- Wooster, W. S., Bakun, A. e McIlain, D. R., (1976). "The Seasonal Upwelling Cycle Along The Eastern Boundary Of The North Atlantic", Journal of Marine Research, **34**, 2, 131-141.